



Traducción de datos duros científicos a incidencia socioambiental en México



**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA**

**María Concepción Martínez Rodríguez
Dulce María Monroy Becerril**
(coordinadoras)

ESTE PROGRAMA ES PÚBLICO, AJENO A CUALQUIER PARTIDO POLÍTICO. QUEDA PROHIBIDO EL USO PARA FINES DISTINTOS ESTABLECIDOS EN EL PROGRAMA



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Politécnico Nacional
"La Técnica al Servicio de la Patria"

Traducción de datos duros científicos a incidencia socioambiental en México

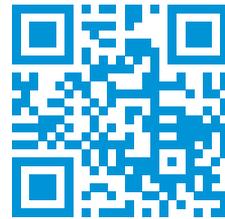
María Concepción Martínez Rodríguez
Dulce María Monroy Becerril
(coordinadoras)



**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA**

Ediciones Comunicación Científica se especializa en la publicación de conocimiento científico de calidad en español e inglés en soporte de libro impreso y digital en las áreas de humanidades, ciencias sociales y ciencias exactas. Guía su criterio de publicación cumpliendo con las prácticas internacionales: dictaminación de pares ciegos externos, autenticación antiplagio, comités y ética editorial, acceso abierto, métricas, campaña de promoción, distribución impresa y digital, transparencia editorial e indexación internacional.

Cada libro de la Colección Ciencia e Investigación es evaluado para su publicación mediante el sistema de dictaminación de pares externos y autenticación antiplagio. Invitamos a ver el proceso de dictaminación transparentado, así como la consulta del libro en Acceso Abierto.



www.comunicacion-cientifica.com

[DOI.ORG/10.52501/cc.187](https://doi.org/10.52501/cc.187)



Traducción de datos duros científicos a incidencia socioambiental en México

María Concepción Martínez Rodríguez
Dulce María Monroy Becerril
(coordinadoras)



Traducción de datos duros científicos a incidencia socioambiental en México / coordinadoras María Concepción Martínez Rodríguez, Dulce María Monroy Becerril .— Ciudad de México : Comunicación Científica, 2024.(Colección Ciencia e Investigación).

185 páginas : gráficas, fotografías ; 23 x 16.5 centímetros

DOI: 1052501/cc.187

ISBN: 9786075998893

1. Problemas medioambientales -- México. 2. Gestión medioambiental -- México. I. Martínez Rodríguez, María Concepción, coordinadora. II. Monroy Becerril, Dulce María, coordinadora.

LC: GE140 T73

DEWEY: 363.7 T73

Este libro es producto científico de los proyectos de investigación: SIP 20231182 y SIP 20232252, ambos con financiamiento del Instituto Politécnico Nacional.

La titularidad de los derechos patrimoniales y morales de esta obra pertenece a las coordinadoras D. R. María Concepción Martínez Rodríguez y Dulce María Monroy Becerril, 2024. Reservados todos los derechos conforme a la Ley. Su uso se rige por una licencia Creative Commons BY-NC-ND 4.0 Internacional, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.es>

Primera edición en Ediciones Comunicación Científica, 2024

Diseño de portada: Francisco Zeledón • Interiores: Guillermo Huerta

Ediciones Comunicación Científica, S. A. de C. V., 2024

Av. Insurgentes Sur 1602, piso 4, suite 400,

Crédito Constructor, Benito Juárez, 03940, Ciudad de México,

Tel.: (52) 55-5696-6541 • Móvil: (52) 55-4516-2170

info@comunicacion-cientifica.com • www.comunicacion-cientifica.com

 comunicacioncientificapublicaciones  @ComunidadCient2

ISBN: 978-607-59988-9-3

DOI: 10.52501/cc.187



Esta obra fue dictaminada mediante el sistema de pares ciegos externos. El proceso transparentado puede consultarse, así como el libro en acceso abierto, en <https://doi.org/10.52501/cc.187>

Índice

Introducción	9
1. Regulación de tecnologías emergentes en el tratamiento de aguas residuales y su impacto en la competitividad empresarial mexicana, <i>Jorge Alejandro Silva Rodríguez de San Miguel, Dulce María Monroy Becerril, María Concepción Martínez Rodríguez</i>	15
2. El papel de las escuelas verdes en la concientización y acción contra el cambio climático en México, <i>Héctor Guadalupe Ramírez Escamilla, Diego Domínguez Solís, María Concepción Martínez Rodríguez</i>	39
3. Análisis de indicadores internacionales de sustentabilidad empresarial como elementos de política pública para el contexto mexicano, <i>Alejandro D. Camacho Vera, María del Carmen Martínez Cuevas, Mariana Marcelino Aranda</i>	55
4. Inteligencia artificial en empresas administradoras de agua como factor de competitividad en México, <i>Jorge Alejandro Silva Rodríguez de San Miguel, Christian Muñoz SánchezEsteban Martínez Díaz</i>	79

5. Plan Operativo el Mejoramiento en la recolección de los Residuos Sólidos Urbanos. Estudio de caso en la Alcaldía Iztapalapa, <i>Dulce María Monroy-Becerril, Christian Muñoz Sánchez, Eugene Hakizimana</i>	103
6. La gestión de las políticas públicas en el suministro de agua potable en México, <i>Roberto Rosales Vivar, Jorge Alejandro Silva Rodríguez de San Miguel, Lucio Barrueta Duran</i>	121
7. La viabilidad del uso de los autos eléctricos en naciones en desarrollo, <i>Daniel Romo Rico, Christian Muñoz Sánchez</i>	141
8. Los pasivos ambientales de la industria petrolera. Un estudio preliminar, <i>Miguel Alvarado Cardona, J. Aurelio Colmenero Robles, Obed Pardo Santos</i>	167
Sobre los autores	181

Introducción

Los datos científicos que se generan como productos de investigación son buenos porque se generan, de primera instancia, como datos base; pero no es suficiente con esta generación sino que es necesario lograr llevarlos a proyectos que modifiquen, ayuden, incidan socioambientalmente en nuestro país. Es por ello que el presente libro tiene la misión de conectar agentes de cambios que generen capacidades para hacer frente a las crisis económicas, con ideas que funcionen como insumo para políticas públicas que aceleren el desarrollo sostenible y con base en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como un llamado a la acción global para acabar con la pobreza, reducir las desigualdades y la exclusión, proteger el planeta y desarrollar la resiliencia para que se pueda progresar.

La presente obra está dividida en 8 capítulos. El primero de ellos nos habla sobre la regulación de tecnologías emergentes en el tratamiento de aguas residuales y su impacto en la competitividad empresarial mexicana. Este trabajo de investigación examina la regulación de tecnologías emergentes en el tratamiento de aguas residuales y su impacto en la competitividad empresarial mexicana. La investigación tiene como objetivo analizar la compleja relación entre el marco regulatorio, los avances tecnológicos y su impacto en la competitividad empresarial en el sector del tratamiento de aguas residuales mexicano, a través de una revisión sistemática de la literatura. Los hallazgos indican que un entorno regulatorio coherente y bien diseñado proporciona el marco necesario para que las empresas exploren e implementen tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales.

Además, un marco regulatorio bien diseñado promueve la innovación y fomenta un entorno empresarial competitivo. Las regulaciones claras y consistentes brindan certeza a las empresas, fomentando la inversión y la innovación. Los avances tecnológicos en el tratamiento de aguas residuales ofrecen oportunidades para que las empresas mexicanas mejoren su competitividad mejorando la eficiencia, reduciendo costos y cumpliendo con los estándares ambientales en evolución. Finalmente, la colaboración entre los responsables de formular políticas públicas, los organismos reguladores y las empresas son de vital importancia para desarrollar regulaciones que promuevan la innovación, el crecimiento empresarial y la sostenibilidad ecológica.

El segundo capítulo aborda el papel que tienen las escuelas verdes en la concientización y acción contra el cambio climático en México. La educación desempeña un papel fundamental en la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible, ya que debe estar al alcance de todos y ofrecer una calidad integral que incluya la información ambiental que fomente una mejor interacción humano-ambiente. De esta manera, surge el concepto de escuelas verdes como instituciones encargadas de promover la educación ambiental y plasmar en sus estructuras el uso de materiales y equipos sustentables. El propósito de esta investigación fue analizar, a partir de una revisión bibliográfica de estudios sobre escuelas verdes, para identificar experiencias tanto a nivel internacional como nacional relacionadas con la implementación de estas instituciones, haciendo hincapié en la importancia que estas tienen en la lucha contra el cambio climático, como una herramienta que permita la extensión de conocimiento ambiental. En México se han iniciado estrategias como la certificación de instituciones académicas sostenibles, la gestión integral de residuos y la promoción de la educación ambiental. Sin embargo, se requiere una mayor atención a este concepto para avanzar hacia una mayor concientización y abordar de manera efectiva la problemática del cambio climático, a través de la integración de soluciones sustentables a favor del ahorro de energía y un aprovechamiento racional de recursos.

El tercer capítulo toca el tema del análisis de indicadores internacionales de sustentabilidad empresarial como elementos de política pública para el contexto mexicano. El desarrollo sostenible es el paradigma predominante en las últimas décadas, a partir del año 2015 se marcaron los 17 objetivos

que deberán ser alcanzados por los países miembros de las Naciones Unidas. Bajo este escenario, las empresas, como un actor importante en el logro de éstos y por su contribución al progreso económico, el bienestar social y el cuidado del ambiente, realizan esfuerzos por medir sus niveles de sustentabilidad. A través de una revisión y análisis documental, se analizaron los indicadores internacionales de sustentabilidad empresarial, para reconocer aquellos que están establecidos en la política pública del contexto mexicano y que fungen como guía para la medición de sustentabilidad de las empresas que operan en México. Al respecto, se concluye que las empresas dan cuenta de su nivel de sustentabilidad de manera independiente y voluntaria para presentarse con una buena imagen ante las partes interesadas, informar e influir en su opinión sobre la empresa para cumplir con la normatividad y para obtener beneficios financieros. Si en México las empresas se reconocen como un actor importante que tiene el potencial de acelerar la implementación de la Agenda 2030, es necesario no sólo hacer un llamado a su participación, sino abonar al marco regulatorio para hacer que su contribución sea parte de sus responsabilidades de participación en la construcción de un México sostenible y proveer un marco de indicadores que permita dar un seguimiento adecuado a la integración de la sustentabilidad en su modelo de negocios.

El cuarto capítulo aborda la inteligencia artificial en empresas administradoras de agua como factor de competitividad en México. Las empresas innovadoras de servicios públicos de agua se han vuelto más competitivas gracias a las tecnologías digitales que continúan revolucionando y mejorando su desempeño. Al aprovechar el poder de la inteligencia artificial y el internet de las cosas, las empresas de gestión del agua utilizan datos para mejorar la prestación de servicios, optimizar sus inversiones de capital y reducir los costos operativos. Este trabajo examinó el uso de la inteligencia artificial en las empresas administradoras de agua como factor de competitividad en México. Para ello, se realizó una revisión sistemática de la literatura en las bases de datos *ProQuest*, *Scopus*, *Nature*, *WATERnetBASE* y *Water*, en los que se obtuvo un total de 43 documentos. De estos 37 fueron seleccionados para el análisis en función de su validez de contenido y relevancia para el tema. Los hallazgos muestran que el uso de inteligencia artificial por parte de las empresas de servicios públicos de agua mejora la

competitividad al optimizar los sistemas de apoyo a las decisiones, la inteligencia y los procesos comerciales. Los algoritmos de inteligencia artificial permiten a las empresas de agua mejorar la previsión y prevenir emergencias, mejorar la eficiencia energética y desarrollar sistemas de agua inteligentes.

El quinto capítulo expone la propuesta de un plan operativo: el mejoramiento en la recolección de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Estudio de Caso en la Alcaldía Iztapalapa. El capítulo aborda la importancia de la gestión integral de los procesos de la Administración pública, enfocándose principalmente en el manejo de RSU, debido a que es una problemática que afecta en distintos aspectos a la sociedad y al medio ambiente y que podrían evitarse con la recolección idónea los residuos si los encargados de cada de cada área recolectora considera un enfoque sustentable. La investigación se llevó a cabo en la Unidad habitacional II Santa Cruz Meyehualco de la alcaldía Iztapalapa como caso específico, porque permitió tener datos controlados en una sola locación que cumplió con la población de estudio. El objetivo principal de la investigación fue diseñar un plan operativo que permita el mejoramiento en la recolección de los RSU, en la alcaldía Iztapalapa. Se planteó una metodología con enfoque mixto, el tipo de investigación es hipotético deductivo, alcance de un período de tiempo de 2012 al 2022 en la Unidad habitacional II Santa Cruz Meyehualco de la alcaldía Iztapalapa y el desarrollo de la perspectiva teórica se basó en la revisión de documentación académica, entrevistas, marcos normativos y reglamentación que da base a la validez del proyecto.

El sexto capítulo, “La gestión de las políticas públicas en el suministro de agua potable en México”, nos menciona como el agua es un elemento fundamental en el planeta para darle vida a la humanidad, es el remedio para combatir diversos males ocasionados por la raza humana: contaminación, crecimiento demográfico, guerras, cambio climático, epidemias, desarrollo económico y actividades industriales. En el siglo XXI, particularmente en México, se deben considerar las afectaciones referidas para gestionar políticas públicas que eviten más problemas como fugas de agua, contaminación del agua, desperdicio de agua por falta de mantenimiento en la infraestructura hidráulica, inadecuada cultura para el uso y cuidado del agua, etc. El presente capítulo tuvo como objetivo analizar la gestión en

las políticas públicas en el suministro de agua potable en México, como mecanismo para la sobrevivencia de las generaciones futuras. La investigación fue cualitativa en la que se seleccionó y recopiló información en revistas electrónicas, libros y periódicos. Los resultados muestran que las políticas públicas deben estar bien analizadas, fundamentadas y actualizadas para la buena gestión del agua que repercuta en su ahorro y extensión, ante las crecientes demandas del sector social del país. Finalmente, se sugiere seguir profundizando en el tema en futuros trabajos: de forma puntual a nivel estatal y local.

El capítulo séptimo se enfoca a la viabilidad del uso de los autos eléctricos en naciones en desarrollo, la incorporación de los autos eléctricos al parque vehicular es una de las medidas que se están alentando para neutralizar los efectos del cambio climático. Implica el desplazamiento del diésel y la gasolina como combustibles en el sector transportes. Algunas naciones han planteado metas para la mitad del decenio siguiente, que vislumbran potenciales cambios estructurales en la industria automotriz, así como con las que interactúa. No todos los países han planteado dichas metas, y mucho menos cuentan con las condiciones para avanzar en tal proceso. El presente capítulo busca identificar los principales retos que las naciones en desarrollo afrontan para alinearse al proceso de desplazamiento de los autos convencionales operados con los derivados del petróleo. Para ello, se realiza un diagnóstico de las industrias petroleras y el problema medioambiental que origina su combustión. Asimismo, se analiza la industria automotriz y sus avances en el caso de los autos eléctricos. Finalmente, se exponen los obstáculos que esas naciones en desarrollo afrontan para electrificar su parque vehicular. Se concluye que el proceso de cambio de autos de combustión a autos eléctricos será lento y complejo en virtud de ser países en desarrollo, para ayudar a que se acelere este cambio y alineación hacia el uso de los autos eléctricos se requieren de política públicas de largo plazo, soportadas con recursos financieros, tecnológicos, políticos y sociales.

Y cerramos la edición con el octavo capítulo, el cual enseña los pasivos ambientales de la industria petrolera en un estudio preliminar. Este estudio sobre los pasivos ambientales está enfocado a la industria petrolera, en los escenarios de la fuga del hidrocarburo que transportan los buques petroleros vía marítima y a las causas de los derrames y fugas en áreas terrestres.

Las actividades de exploración y de extracción de petróleo en distintos estados de México los lleva a cabo Petróleos Mexicanos (PEMEX), importante empresa paraestatal. A consecuencia de la extracción de este recurso energético, suelen ocurrir derrames que afectan distintas regiones agrícolas, ganaderas, humedales o manglares, principalmente en el sureste de México, en razón de su efecto son considerados como pasivos ambientales. En el periodo de 2000 a 2010, conforme a un reporte de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), se cuantificaron 1499 derrames, así como la cantidad de 133 sitios contaminados entre los años de 2008 a 2021 en diez estados. Las causas de estos eventos se pueden atribuir al estado avanzado de corrosión, fallas de materiales, errores de operación y problemas de mantenimiento en la infraestructura. A pesar de las disposiciones normativas referentes a la actividad de la industria petrolera permanecen muchos sitios que no son remediados por la propia paraestatal.

A través de la presente obra queremos resaltar la importancia de la interpretación de los datos científicos en un contexto donde tengan una incidencia socioambiental, esperamos lograr interesar al lector en la obra y podamos contar con sus comentarios.

MARÍA CONCEPCIÓN MARTÍNEZ RODRÍGUEZ
DULCE MARÍA MONROY BECERRIL

1. Regulación de tecnologías emergentes en el tratamiento de aguas residuales y su impacto en la competitividad empresarial mexicana¹

JORGE ALEJANDRO SILVA RODRÍGUEZ DE SAN MIGUEL*

DULCE MARÍA MONROY BECERRIL**

MARÍA CONCEPCIÓN MARTÍNEZ RODRÍGUEZ***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.187.01>

Resumen

Este trabajo de investigación examina la regulación de tecnologías emergentes en el tratamiento de aguas residuales y su impacto en la competitividad empresarial mexicana. La investigación tiene como objetivo analizar la compleja relación entre el marco regulatorio, los avances tecnológicos y su impacto en la competitividad empresarial en el sector del tratamiento de aguas residuales mexicano a través de una revisión sistemática de la literatura. Los hallazgos indican que un entorno regulatorio coherente y bien diseñado proporciona el marco necesario para que las empresas exploren e implementen tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales. Además, un marco regulatorio bien diseñado promueve la innovación y fomenta un entorno empresarial competitivo. Las regulaciones claras y consistentes brindan certeza a las empresas fomentando la inversión y la innovación. Los avances tecnológicos en el tratamiento de aguas residuales ofrecen

¹ Derivado del proyecto SIP 20230705: Consumo social responsable de agua embotellada en México ante una economía circular

* Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor de la ESCA-ST, Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0961-4696>

** Maestra en Ciencias. Profesora e investigadora de la ESCA-ST, Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0787-5577>

*** Doctora en Política Pública. Profesora en el Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD), Instituto Politécnico Nacional. México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3094-54111>

oportunidades para que las empresas mexicanas mejoren su competitividad mejorando la eficiencia, reduciendo costos y cumpliendo con los estándares ambientales en evolución. Finalmente, la colaboración entre los responsables de formular políticas públicas, los organismos reguladores y las empresas son de vital importancia para desarrollar regulaciones que promuevan la innovación, el crecimiento empresarial y la sostenibilidad ecológica.

Palabras clave: *Tecnologías emergentes, aguas residuales, competitividad empresarial, políticas públicas, innovación.*

Introducción

El rápido desarrollo y despliegue de tecnologías emergentes en el tratamiento de aguas residuales ha generado avances significativos para mejorar la calidad del agua y garantizar la sostenibilidad ambiental (Younas *et al.*, 2021). Estas tecnologías, que abarcan una amplia gama de enfoques innovadores como la filtración por membrana, los procesos de oxidación avanzados y los métodos de tratamiento electroquímico, pueden revolucionar potencialmente las prácticas de tratamiento de aguas residuales (Younas *et al.*, 2021). Sin embargo, la implementación y regulación exitosas de estas tecnologías emergentes plantean desafíos cruciales para los gobiernos y las empresas (Younas *et al.*, 2021). En la competitividad empresarial mexicana, la regulación efectiva de las tecnologías emergentes de tratamiento de aguas residuales es primordial (Younas *et al.*, 2021). A medida que México enfrenta una presión cada vez mayor para mejorar sus estrategias de gestión del agua, las empresas de diversas industrias se enfrentan a la necesidad de cumplir con las regulaciones ambientales en evolución y al mismo tiempo seguir siendo competitivos en el mercado global (Younas *et al.*, 2021). Por lo tanto, comprender el impacto de la regulación de tecnologías emergentes en el tratamiento de aguas residuales en la competitividad de las empresas mexicanas se vuelve fundamental (Ronderos-Lara *et al.*, 2020).

La hipótesis central de esta investigación es que regular las tecnologías emergentes en el tratamiento de aguas residuales en México tiene implica-

ciones tanto positivas como negativas para la competitividad empresarial. Esta investigación tiene como objetivo identificar y analizar los factores clave que influyen en la regulación de las tecnologías emergentes en el tratamiento de aguas residuales en México y su posterior impacto en la competitividad empresarial. El estudio explora los diversos enfoques empleados en la regulación de estas tecnologías y su eficacia para facilitar un entorno propicio para el crecimiento empresarial y la innovación.

Se llevó a cabo una revisión y crítica exhaustiva de la literatura para lograr estos objetivos, que abarcó artículos de investigación relevantes, informes gubernamentales y publicaciones de la industria. La metodología implicó la búsqueda sistemática, la selección y la síntesis de la literatura para extraer información valiosa e identificar las lagunas en la investigación. Los resultados de esta investigación brindan implicaciones prácticas para los encargados de formular políticas, los organismos reguladores y las empresas que operan en el sector de tratamiento de aguas residuales en México. Los hallazgos contribuyen a comprender la intrincada relación entre la regulación tecnológica y la competitividad empresarial, orientando políticas eficaces que equilibren la sostenibilidad ambiental y el crecimiento económico.

Metodología

Implicó una revisión exhaustiva de la literatura sobre la regulación de tecnologías emergentes en el tratamiento de aguas residuales en México y su impacto en la competitividad empresarial. La literatura relevante se identificó a través de búsquedas sistemáticas en bases de datos como *Scopus* y *Social Science Citation Index*. Los criterios de inclusión abarcaron estudios publicados entre 2000 y 2023 que se centraron en el marco regulatorio, los avances tecnológicos y la competitividad empresarial en el contexto mexicano. La extracción y el análisis de datos se realizaron para recopilar información crítica, que se sintetizó y criticó para identificar patrones, tendencias y lagunas en la investigación. Las preocupaciones regionales específicas de México se integraron en el análisis, considerando las influencias gubernamentales, las preocupaciones ambientales y la dinámica de la industria. Los criterios de selección priorizaron fuentes acreditadas, incluidos artículos

revisados por pares e informes de organizaciones reconocidas. A través de esta metodología, la investigación tiene como objetivo analizar la literatura sobre el tema de manera integral.

Descripción de las tecnologías emergentes en el tratamiento de aguas residuales

La definición y el alcance de las tecnologías emergentes en el tratamiento de aguas residuales juegan un papel fundamental en la comprensión de los avances y el impacto potencial de estas tecnologías (Krishnamoorthy *et al.*, 2019). Las tecnologías emergentes abarcan varios enfoques únicos e innovadores que se basan en principios científicos y de ingeniería avanzados para aumentar la eficiencia de los procesos de tratamiento de aguas residuales (Krishnamoorthy *et al.*, 2019). Estas tecnologías incluyen diferentes metodologías, como procesos de oxidación avanzada, procesos biológicos, activación de peróxido de hidrógeno con bicarbonato y varios métodos físicos, químicos y biológicos (Krishnamoorthy *et al.*, 2019). Las tecnologías emergentes abarcan enfoques novedosos e innovadores que pueden mejorar la eficiencia y la eficacia de los procesos de tratamiento de aguas residuales. Estas tecnologías a menudo implican la aplicación de principios científicos y de ingeniería avanzados, junto con la utilización de nuevos materiales, para aumentar el rendimiento del tratamiento (Krishnamoorthy *et al.*, 2019). Ampliando esta perspectiva, Paździor *et al.* (2019) profundizan en el alcance de las tecnologías emergentes dentro del tratamiento de aguas residuales industriales textiles. Destacan la fusión de procesos de oxidación avanzada y procesos biológicos como un enfoque emergente notable. Estos procesos implican el uso de especies altamente reactivas para degradar los contaminantes orgánicos en las aguas residuales, mientras que los procesos naturales aprovechan el poder de los microorganismos para descomponer la materia orgánica. La integración de estos enfoques es una tecnología emergente que promete mucho para mejorar la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales textiles industriales (Martínez-Orgániz *et al.*, 2018).

Nidheesh *et al.* (2022) brindan una descripción general completa de las tecnologías emergentes adaptadas explícitamente para el tratamiento de

aguas residuales industriales mixtas en países en desarrollo. Destacan que las tecnologías emergentes en este contexto abarcan un amplio espectro de enfoques, que incorporan métodos físicos, químicos y biológicos. Esta diversa gama de técnicas está diseñada estratégicamente para abordar los desafíos asociados con las aguas residuales industriales mixtas, caracterizadas por su composición compleja y variada de contaminantes (Nidheesh *et al.*, 2022). Las aguas residuales industriales mixtas presentan un conjunto único de complejidades y requieren estrategias de tratamiento personalizadas debido a su naturaleza heterogénea. Los contaminantes en tales corrientes de aguas residuales a menudo se originan en diversos procesos industriales, lo que da como resultado una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos, metales pesados y otros contaminantes (Nidheesh *et al.*, 2022). En consecuencia, los métodos tradicionales de tratamiento de aguas residuales pueden resultar inadecuados para eliminar estos contaminantes de manera efectiva, lo que requiere la adopción de tecnologías emergentes. Las tecnologías emergentes abarcan varios procesos físicos, químicos y biológicos que ofrecen enfoques innovadores para abordar los desafíos del tratamiento de aguas residuales industriales mixtas (Nidheesh *et al.*, 2022). Los métodos físicos pueden incluir técnicas de filtración avanzadas como la filtración por membrana o los procesos de adsorción, que pueden detectar contaminantes específicos y eliminarlos de la matriz de las aguas residuales (Rashid *et al.*, 2021). Los métodos químicos engloban procesos de oxidación avanzados como la ozonización o la fotocatálisis, que facilitan la degradación y eliminación de compuestos orgánicos recalcitrantes (Tijani *et al.*, 2014). Los métodos biológicos involucran comunidades microbianas especializadas o reactores de biopelícula para degradar o transformar contaminantes orgánicos a través de vías de degradación biológica (Edwards y Kjellerup, 2013).

De forma similar, Jawad *et al.* (2016) exploran la tecnología emergente de activación de bicarbonato de peróxido de hidrógeno en el tratamiento de aguas residuales. Este enfoque innovador presenta una estrategia novedosa y prometedora para mejorar la eficiencia de eliminación de contaminantes. El principio central detrás de esta tecnología radica en la introducción de iones de bicarbonato en el proceso de tratamiento para aumentar el rendimiento del peróxido de hidrógeno como agente oxidante

(Jawad *et al.*, 2016). La activación del peróxido de hidrógeno con iones de bicarbonato ofrece varias ventajas en el tratamiento de aguas residuales. En primer lugar, los iones de bicarbonato son catalizadores que promueven la descomposición del peróxido de hidrógeno en radicales hidroxilos altamente reactivos (Jawad *et al.*, 2016). Estos radicales hidroxilos exhiben fuertes capacidades oxidativas, lo que facilita la descomposición de los contaminantes orgánicos recalcitrantes presentes en las aguas residuales (Jawad *et al.*, 2016). Los iones también mantienen el rango de pH óptimo para el proceso de activación, asegurando la máxima efectividad del peróxido de hidrógeno en la oxidación de contaminantes (Jawad *et al.*, 2016).

El uso de la activación con bicarbonato del peróxido de hidrógeno en el tratamiento de aguas residuales brinda resultados prometedores en la eliminación de contaminantes. Varios estudios han informado mejoras significativas en la degradación de diversos contaminantes, incluidos compuestos orgánicos, productos farmacéuticos y productos químicos industriales (Kan *et al.*, 2020; Urbina-Suarez *et al.*, 2023; Dong *et al.*, 2021). El potencial de oxidación mejorado que ofrece esta tecnología emergente permite una eliminación más eficiente de los contaminantes que suelen ser difíciles de degradar mediante métodos de tratamiento convencionales (Jawad *et al.*, 2016). Además, la aplicación de la activación del peróxido de hidrógeno con bicarbonato presenta un inmenso potencial para futuros avances en el tratamiento de aguas residuales. Las partes interesadas relevantes reconocen su versatilidad y compatibilidad con diferentes procesos y configuraciones de tratamiento. Este enfoque se puede integrar en los sistemas de tratamiento existentes, como procesos de oxidación avanzados o unidades de tratamiento biológico, para mejorar el rendimiento y la eficiencia de eliminación de contaminantes (Jawad *et al.*, 2016). La tecnología emergente de activación de bicarbonato de peróxido de hidrógeno ofrece mejores capacidades de eliminación de contaminantes y presenta varias ventajas adicionales. A diferencia de los agentes oxidantes convencionales, como los compuestos a base de cloro, la activación del peróxido de hidrógeno con iones de bicarbonato no genera subproductos de desinfección nocivos. Este aspecto se alinea con la creciente demanda de enfoques de tratamiento sostenibles y amigables con el medio ambiente (Urbina-Suarez *et al.*, 2023; Jawad *et al.*, 2016).

El alcance de las tecnologías emergentes supera los sectores específicos dentro del tratamiento de aguas residuales, extendiendo su impacto a las aguas residuales textiles industriales, las aguas residuales industriales mixtas y potencialmente a otras categorías (Armah *et al.*, 2020). La integración de diferentes enfoques de tratamiento, junto con el uso de materiales y procesos novedosos, está en el corazón de estas tecnologías emergentes (Armah *et al.*, 2020). Una descripción general y el alcance de las tecnologías emergentes son primordiales, debido a que sirven como base para una mayor exploración y análisis de su impacto en el tratamiento de aguas residuales y la competitividad empresarial mexicana (Armah *et al.*, 2020). Con una comprensión integral de la amplitud y el potencial de esto, las partes interesadas y los formuladores de políticas pueden evaluar críticamente su aplicabilidad, limitaciones y beneficios potenciales para abordar los desafíos de la gestión del agua y fomentar la competitividad empresarial en el sector del tratamiento de aguas residuales.

Avances e innovaciones clave en el tratamiento de aguas residuales

Varios estudios discuten avances notables y tecnologías de punta y su potencial en el tratamiento de aguas residuales. Los procesos de oxidación avanzada han surgido como un avance destacado en el tratamiento de aguas residuales, ofreciendo soluciones eficientes para degradar elementos orgánicos recalcitrantes y mejorar la eficacia general del tratamiento. Deng y Zhao (2015) brindan una descripción general extensa de varios procesos de oxidación avanzada en el tratamiento de aguas residuales. Afirman que el principio detrás de los procesos de oxidación avanzada implica la generación de radicales hidroxilos altamente reactivos ($\bullet\text{OH}$) u otras especies oxidantes fuertes para degradar los contaminantes orgánicos. La ozonización implica el uso de ozono (O_3) para generar radicales $\bullet\text{OH}$ a través de la descomposición directa del ozono o la reacción con moléculas de agua (Deng y Zhao, 2015). La ozonización permite un alto potencial de oxidación y un amplio espectro de degradación de contaminantes (Deng y Zhao, 2015). Los mecanismos, las vías de reacción y los factores que afectan la eficiencia de la fotocatalisis utilizan materiales semiconductores como el

dióxido de titanio (TiO_2) para generar radicales $\bullet\text{OH}$ bajo irradiación de luz (Deng y Zhao, 2015). El estudio de Deng y Zhao (2015) destaca la eficacia de la fotocatalisis para degradar una amplia gama de contaminantes orgánicos en las aguas residuales. Describe el proceso Fenton, que se basa en la reacción entre el peróxido de hidrógeno y los iones ferrosos para generar radicales $\bullet\text{OH}$. Es fundamental controlar parámetros como el pH, la dosis de reactivos y el tiempo de reacción para optimizar la eficiencia del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales (Deng y Zhao, 2015; Armah *et al.*, 2020).

Vogelpohl y Kim (2004) también discutieron la aplicación de procesos de oxidación avanzada en el tratamiento de aguas residuales, destacando las ventajas, como su efectividad en el tratamiento de contaminantes recalcitrantes que son difíciles de eliminar a través de enfoques de tratamiento convencionales. Vogelpohl y Kim están de acuerdo con Deng y Zhao (2015) en que la ozonización implica el uso de ozono para generar radicales $\bullet\text{OH}$, lo que da como resultado la degradación de los contaminantes orgánicos. La versatilidad de la ozonización puede potencialmente tratar varias corrientes de aguas residuales. La oxidación fotoquímica, que utiliza la luz ultravioleta para generar especies reactivas para la degradación de los contaminantes, también puede tratar eficazmente las aguas residuales (Vogelpohl y Kim, 2004). La energía fotónica, la longitud de onda y el diseño del reactor optimizan el proceso de oxidación fotoquímica. Además, Vogelpohl y Kim (2004) describen el proceso de Fenton como un proceso de oxidación avanzada altamente efectivo que implica la reacción entre el peróxido de hidrógeno y los iones ferrosos para generar radicales $\bullet\text{OH}$. Los factores que influyen en el proceso de Fenton incluyen la proporción de peróxido de hidrógeno a iones ferrosos, el pH y el tiempo de reacción (Vogelpohl y Kim, 2004).

Paździor *et al.* (2019) se centran en combinar los procesos de oxidación avanzada con procesos biológicos en el tratamiento de aguas residuales de textiles industriales. Discuten el potencial de estos procesos, como la ozonización y la fotocatalisis, para degradar compuestos orgánicos recalcitrantes y mejorar la eficiencia del tratamiento. La combinación de procesos de oxidación avanzada con procesos biológicos puede mejorar el rendimiento del tratamiento (Paździor *et al.*, 2019). Los procesos de oxidación avanzada

se pueden usar como un paso de pretratamiento para descomponer compuestos orgánicos complejos, haciéndolos más aptos para el tratamiento biológico posterior (Andreottola y Foladori, 2006; Phoon *et al.*, 2020).

Celdas de electrólisis microbiana

Las celdas de electrólisis microbiana han surgido como una tecnología prometedora para el tratamiento de aguas residuales y la recuperación de energía (Tak *et al.*, 2022). Tak *et al.* (2022) se centran en las tecnologías emergentes para la producción de hidrógeno a partir de aguas residuales, incluidas las celdas de electrólisis microbiana, las celdas de combustible microbianas y la fermentación oscura. Estas tecnologías utilizan microorganismos para descomponer la materia orgánica en las aguas residuales y producir gas hidrógeno como subproducto. Las celdas de electrólisis microbiana emplean un proceso electroquímico en el que los microorganismos en la cámara del ánodo oxidan compuestos orgánicos y liberan electrones, que luego se transfieren al cátodo, generando gas hidrógeno. Las celdas de combustible microbianas también dependen de la actividad microbiana, pero se enfocan principalmente en generar electricidad en lugar de hidrógeno. La fermentación oscura implica la descomposición anaeróbica de la materia orgánica por parte de microorganismos, produciendo hidrógeno como producto final primario (Tak *et al.*, 2022).

Anwer *et al.* (2020) enfatizan el potencial de las celdas de electrólisis microbiana en el tratamiento de aguas residuales. Las reacciones electroquímicas únicas dentro de las celdas de electrólisis microbiana permiten la degradación simultánea de contaminantes orgánicos y la generación de electricidad o subproductos valiosos. Este proceso electroquímico es impulsado por la interacción entre microorganismos y electrodos, formando una relación simbiótica que utiliza las actividades metabólicas de los microorganismos para el tratamiento de aguas residuales (Anwer *et al.*, 2020). Escapa *et al.* (2016) brindan una revisión en profundidad de las celdas de electrólisis microbiana, centrándose en la producción de hidrógeno y la recuperación de energía. La transición de la tecnología de las celdas de electrólisis microbiana del laboratorio a las plantas piloto y más allá es parte

de los avances en la ampliación del sistema para aplicaciones prácticas. Las comunidades microbianas y las interacciones electroquímicas con los electrodos de ánodo y cátodo son fundamentales en el tratamiento de aguas residuales.

Kadier *et al.* (2016) exploran a fondo los avances recientes y los desafíos emergentes en las celdas de electrólisis microbiana para la producción microbiana de hidrógeno y productos químicos de valor agregado. Analizan los factores clave que influyen en el rendimiento de las celdas de electrólisis microbiana como la selección del sustrato, el material del electrodo y el diseño del reactor. También abordan los desafíos asociados con la ampliación de estas celdas para aplicaciones comerciales y proponen estrategias para mejorar la eficiencia y la estabilidad del sistema. Un desafío importante son los altos costos operativos y de capital de los sistemas de estas celdas a gran escala. Existe la necesidad de optimizar el diseño y la construcción de reactores de celdas de electrólisis microbiana para reducir los costos y mantener el rendimiento. La gestión y el tratamiento de grandes volúmenes de aguas residuales plantea desafíos logísticos, lo que requiere estrategias eficientes para integrar las celdas en la infraestructura de tratamiento de aguas residuales existente (Kadier *et al.*, 2016). Otro desafío crítico es la selección y optimización de los materiales de los electrodos. Kadier *et al.* (2016) discutieron la importancia de los materiales de electrodos que exhiben alta actividad catalítica, estabilidad y rentabilidad. Exploran estrategias para mejorar el rendimiento de las celdas mediante la modificación de las superficies de los electrodos y el desarrollo de nuevos materiales para electrodos con propiedades mejoradas. Mantener una comunidad microbiana estable es crucial para el tratamiento sostenido y eficiente de aguas residuales en las celdas de electrólisis microbiana. El mantenimiento de la diversidad y actividad microbiana durante períodos prolongados está asociado con desafíos, particularmente en composiciones de aguas residuales complejas y fluctuantes. Varias estrategias, como las técnicas de inmovilización microbiana y el desarrollo de consorcios microbianos robustos, pueden mejorar la estabilidad y el rendimiento de la tecnología de tratamiento de aguas residuales (Kadier *et al.*, 2016; Armah *et al.*, 2020).

Biorreactores de membrana

Los biorreactores de membrana han ganado una atención significativa como tecnología innovadora que combina procesos de tratamiento biológico con filtración por membrana. Dohare y Trivedi (2014) revisan exhaustivamente las ventajas de los biorreactores de membrana, incluida la mejora de la calidad de los efluentes, la huella reducida y el potencial para la reutilización del agua (Dohare y Trivedi, 2014). En su revisión, Tetteh *et al.* (2019) analizan el tratamiento de aguas y aguas residuales para su reutilización y generación de energía, centrándose en las tecnologías emergentes. Las tecnologías de membrana son cruciales para el tratamiento sostenible del agua y la recuperación de recursos (Tetteh *et al.*, 2019). La integración de procesos de tratamiento avanzados garantiza efluentes de alta calidad al mismo tiempo que aprovecha la energía de las aguas residuales (Obotey *et al.*, 2020). Dereli *et al.* (2021) se centran en el tratamiento conjunto de lixiviados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, abordando problemas críticos y tecnologías emergentes. Afirman que los biorreactores de membrana permiten un tratamiento conjunto eficaz y sostenible de los lixiviados junto con las aguas residuales municipales. La integración de tecnologías emergentes para mejorar la eficiencia y el desempeño ambiental de las plantas de tratamiento de aguas residuales es crucial (Dereli *et al.*, 2021).

Biorreactores de membrana osmótica

Los biorreactores de membrana osmótica avanzan aún más en el tratamiento de aguas residuales basado en membranas (Wang *et al.*, 2016). Wang *et al.* (2016) afirman que los biorreactores de membrana osmótica pueden lograr efluentes de alta calidad y recuperación de energía a través de procesos osmóticos. Estos biorreactores combinan los principios de filtración por membrana y ósmosis para mejorar el rendimiento del tratamiento de aguas residuales. Una membrana semipermeable con propiedades específicas crea un gradiente de concentración en estos sistemas, lo que permite que el agua penetre en la membrana mientras retiene los solutos y los sólidos en suspensión. Los biorreactores de membrana osmótica pueden eliminar eficaz-

mente los contaminantes, incluida la materia orgánica disuelta, los nutrientes y los microcontaminantes, mejorando la calidad de los efluentes (Wang *et al.*, 2016). El proceso osmótico dentro de los biorreactores de membrana osmótica puede facilitar la recuperación de recursos valiosos, como energía o nutrientes, al aprovechar la diferencia de potencial osmótico entre las soluciones de alimentación y extracción (Wang *et al.*, 2016). Cornelissen *et al.* (2011) brindan más información sobre el concepto innovador de los biorreactores de membrana osmótica para la reutilización de aguas residuales. Discuten el diseño, la operación y los beneficios potenciales de estos, centrándose en la eliminación de materia orgánica, nutrientes y patógenos. Estos sistemas se pueden integrar con otros procesos de tratamiento, como la digestión anaeróbica, para mejorar la recuperación de recursos.

Marco regulatorio de tecnologías emergentes en el tratamiento de aguas residuales en México

El marco legal de México con respecto a la gestión de aguas residuales está conformado por la Ley del Medio Ambiente de México, que incluye disposiciones que enfatizan la importancia de las prácticas sostenibles de tratamiento de aguas residuales (González, 2013). La ley reconoce la necesidad de proteger los recursos hídricos y promover tecnologías amigables con el medio ambiente en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales (González, 2013). La ley fomenta el uso de tecnologías respetuosas con el medio ambiente y la adopción de las mejores técnicas en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales. Los estudios de casos de diferentes regiones de México brindan información sobre la implementación y la efectividad del marco legal, destacando la importancia de las regulaciones integrales y la intervención del gobierno para impulsar la política de tratamiento de aguas residuales. Al integrar prácticas sustentables en su marco legal, México se esfuerza por proteger sus recursos hídricos y promover el manejo ambientalmente racional de las aguas residuales (González, 2013).

Un estudio de caso realizado en Baja California Sur por Valdivia Alvarado *et al.* (2021) proporciona información sobre el marco legal de México para la gestión de aguas residuales. El estudio examina el contexto norma-

tivo específico de la región y destaca la importancia de las disposiciones legales para garantizar un tratamiento eficaz de las aguas residuales. Enfatiza la necesidad de regulaciones integrales que aborden varios aspectos de la gestión de aguas residuales, incluidos los estándares de tratamiento, los requisitos de monitoreo y los procesos de obtención de permisos (Valdivia Alvarado *et al.*, 2021). Además, Casiano Flores *et al.* (2019) compararon tres casos subnacionales en el centro de México para analizar el papel del estado en el estímulo de la política de tratamiento de aguas residuales. El estudio destaca la importancia de la intervención del gobierno para impulsar la adopción de prácticas de tratamiento de aguas residuales. Las regulaciones e incentivos efectivos que proporciona el estado pueden fomentar la implementación de tecnologías sostenibles de tratamiento de aguas residuales (Casiano Flores *et al.*, 2019).

México ha logrado avances significativos en el desarrollo de un marco regulatorio integral para el tratamiento de aguas residuales para garantizar la protección ambiental y la gestión sostenible de los recursos hídricos (Wilder, 2010). Aplicadas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y la Comisión Nacional del Agua (Conagua), estas normas cubren una amplia gama de aspectos del tratamiento y descarga de aguas residuales (Wilder, 2010). En esta discusión, se profundiza en los detalles del marco regulatorio de México para el tratamiento de aguas residuales, extrayendo información de estudios relevantes realizados en el país (Wilder, 2010). La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente sirve como marco legal principal de México para la gestión ambiental (Silva, 2019). Esta ley establece los principios y lineamientos para la protección ambiental en varios sectores, incluido el tratamiento de aguas residuales. Establece las bases para desarrollar y hacer cumplir regulaciones específicas relacionadas con los estándares de calidad del agua, las evaluaciones de impacto ambiental y los permisos para la descarga de aguas residuales (Tabla-Vázquez *et al.*, 2020). Además, el compromiso de México con los acuerdos y protocolos ambientales internacionales también da forma a su enfoque regulatorio para el tratamiento de aguas residuales. El compromiso de México con la protección del medio ambiente y la gestión sostenible del agua es evidente a través de la ratificación de acuerdos internacionales como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

(CMNUCC) y la Convención Ramsar sobre los Humedales. Estos acuerdos influyen significativamente en las políticas y regulaciones ambientales de México, dando forma al enfoque del país para el tratamiento de aguas residuales y enfatizando la importancia de la conservación y las prácticas sostenibles (Tabla-Vázquez *et al.*, 2020).

La CMNUCC tiene como objetivo abordar el cambio climático y sus impactos a través de la cooperación internacional. Al ratificar esta convención, México demuestra su compromiso con la mitigación del cambio climático y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (Ford *et al.*, 2016). Los principios de desarrollo sostenible e integridad ambiental de la CMNUCC se alinean con los objetivos de México de proteger los recursos hídricos y adoptar tecnologías sostenibles de tratamiento de aguas residuales (Ford *et al.*, 2016). La Convención de Ramsar sobre los Humedales es un tratado internacional centrado en la conservación y el uso racional de los humedales. Los humedales son vitales para la purificación del agua y el funcionamiento de los ecosistemas, lo que los hace críticos para el tratamiento de aguas residuales y la gestión del agua. Al ratificar esta convención, México reconoce la importancia ecológica de los humedales y la necesidad de proteger estos hábitats para recursos hídricos sostenibles (Davidson, 2018).

La influencia de estos acuerdos internacionales en las políticas y regulaciones ambientales de México es destacada por Tabla-Vázquez *et al.* (2020). El estudio analiza el tratamiento de aguas residuales en México y enfatiza la importancia de los acuerdos internacionales en la configuración del enfoque del país para la gestión del agua. Los principios y lineamientos delineados en estos acuerdos, incluyendo el desarrollo sustentable, la conservación y el uso racional de los recursos naturales, sirven como base para las políticas ambientales de México relacionadas con el tratamiento de aguas residuales (Tabla-Vázquez *et al.*, 2020). La ratificación de acuerdos internacionales por parte de México demuestra su compromiso con los objetivos ecológicos globales y refuerza la importancia de la gestión sostenible del agua en el país (Tabla-Vázquez *et al.*, 2020). Estos acuerdos brindan un marco para abordar los desafíos ambientales y guiar el desarrollo de regulaciones y políticas efectivas para el tratamiento de aguas residuales. Al incorporar los principios de estos acuerdos internacionales en su marco re-

gulatorio, México asegura que sus prácticas de tratamiento de aguas residuales se alineen con los objetivos de sustentabilidad global (Tabla-Vázquez *et al.*, 2020).

En México, las regulaciones específicas para las tecnologías de tratamiento de aguas residuales son cruciales para garantizar una gestión eficaz y sostenible de las aguas residuales. Estas regulaciones se enfocan en establecer estándares y umbrales para las descargas de aguas residuales, promover tecnologías ambientalmente amigables y fomentar la adopción de las mejores técnicas disponibles. Varios estudios brindan información sobre estas regulaciones y sus implicaciones para las tecnologías de tratamiento de aguas residuales en México. La encuesta de Gutiérrez (2008) investiga los estándares y umbrales para las descargas de aguas residuales en México. El autor destaca la importancia de cumplir con la Norma Oficial Mexicana (NOM) NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales (Gutiérrez, 2008). Parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno y los sólidos suspendidos totales están regulados para proteger los recursos hídricos y mantener la calidad ambiental (Gutiérrez, 2008). El cumplimiento de estas normas asegura que las tecnologías de tratamiento de aguas residuales cumplan con los criterios de calidad exigidos para su vertido (Gutiérrez, 2008).

Las instalaciones de tratamiento de aguas residuales en México deben adoptar tecnologías y prácticas apropiadas para cumplir con estas regulaciones (Valladares Linares *et al.*, 2019). Valladares Linares *et al.* (2019) destacan la ampliación de un sistema de pila de celdas de combustible microbianas para el tratamiento de aguas residuales residenciales. Este estudio demuestra la aplicación de una tecnología innovadora que combina procesos biológicos y generación de electricidad en un modo de operación continuo. Valladares Linares *et al.* (2019) muestran el potencial de la tecnología de celdas de combustible microbianas para el tratamiento descentralizado de aguas residuales mientras se cumplen los requisitos reglamentarios para la calidad de los efluentes. También se exploran otras tecnologías de tratamiento en el cumplimiento normativo además de las celdas de combustible microbianas. Ramírez-Sosa *et al.* (2013) investigan la determinación de compuestos orgánicos en lixiviados de vertederos tratados por adsorción

Fenton. El estudio se centra en la eliminación de contaminantes orgánicos mediante una combinación de procesos de oxidación avanzados y técnicas de adsorción. Al evaluar la eficiencia del proceso de tratamiento, Ramírez-Sosa *et al.* (2013) abordan la importancia de cumplir con los estándares regulatorios para contaminantes orgánicos en el tratamiento de aguas residuales.

La ley ambiental y las reglamentaciones relacionadas son cruciales para orientar las prácticas de gestión de aguas residuales en el país. Estas leyes promueven el desarrollo sostenible y abogan por la adopción de las mejores técnicas disponibles en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales (Valdivia Alvarado *et al.*, 2021; Tabla-Vázquez *et al.*, 2020; Silva, 2019; González, 2013; Wilder, 2010; Gutiérrez, 2008).

Al fomentar el uso de tecnologías amigables con el medio ambiente, México busca minimizar el impacto ambiental de las descargas de aguas residuales y garantizar la protección de los recursos hídricos. El examen de las regulaciones específicas para las tecnologías de tratamiento de aguas residuales destaca el compromiso de México con la protección del medio ambiente y el desarrollo sustentable. México tiene como objetivo controlar la contaminación y salvaguardar los recursos hídricos mediante la aplicación de estándares y umbrales para las descargas de aguas residuales (Valdivia Alvarado *et al.*, 2021; Tabla-Vázquez *et al.*, 2020; Silva, 2019; González, 2013; Wilder, 2010; Gutiérrez, 2008).

La adopción de tecnologías innovadoras, como las celdas de combustible microbianas y los procesos de oxidación avanzada, destaca los esfuerzos de México para explorar e implementar alternativas sostenibles de tratamiento de aguas residuales que cumplan con los requisitos reglamentarios (Valladares Linares *et al.*, 2019).

Implicaciones del cumplimiento normativo en la competitividad empresarial mexicana

El impacto de la regulación de tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales, tales como procesos de oxidación avanzada, celdas de electrolisis microbiana, biorreactores de membrana y biorreactores de mem-

brana osmótica, en la competitividad empresarial mexicana es un aspecto importante para considerar (Wilder, 2010; Silva, 2019). Estas tecnologías pueden revolucionar potencialmente las prácticas de tratamiento de aguas residuales al mejorar la eficiencia del tratamiento, lograr efluentes de mayor calidad y promover la gestión sostenible del agua (Wilder, 2010; Silva, 2019). Sin embargo, el marco regulatorio que rodea a estas tecnologías puede influir en su adopción y, en consecuencia, en la competitividad de las empresas (Wilder, 2010; Silva, 2019). La regulación de tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales puede tener implicaciones positivas y negativas para las empresas mexicanas. Por un lado, las regulaciones estrictas pueden aumentar los costos de cumplimiento para las empresas, ya que necesitan invertir en implementar y operar estas tecnologías (Wilder, 2010; Silva, 2019). El cumplimiento de los requisitos reglamentarios puede implicar importantes inversiones de capital, como la instalación de equipos especializados, actualizaciones tecnológicas y ajustes operativos. Estas cargas y costos financieros pueden afectar significativamente a las pequeñas y medianas empresas (PyMES), que pueden tener recursos y capacidad limitados para adoptar estas tecnologías (Wilder, 2010; Silva, 2019). Sin embargo, estas tecnologías pueden ofrecer beneficios significativos, como una mejor eficiencia del tratamiento, costos operativos reducidos y un desempeño ambiental mejorado (Wilder, 2010; Silva, 2019). Cumpliendo con las regulaciones e implementando estas tecnologías, las empresas pueden fortalecer sus procesos de tratamiento de aguas residuales, lo que conduce a efluentes de mayor calidad, menor contaminación y mejor utilización de los recursos (Wilder, 2010; Silva, 2019).

El desarrollo e implementación de estas tecnologías de tratamiento de aguas residuales puede estimular la innovación y fomentar el crecimiento de un sector especializado en la industria del tratamiento de aguas residuales (Wilder, 2010; Silva, 2019). Esto puede crear nuevas oportunidades comerciales, impulsar el crecimiento económico y generar empleo en campos relacionados, como la fabricación, instalación y mantenimiento de tecnología (Wilder, 2010; Silva, 2019). Las empresas que adoptan y ofrecen rápidamente estas tecnologías avanzadas pueden obtener una ventaja competitiva al diferenciarse de sus competidores y posicionarse como líderes en la industria (Garrone *et al.*, 2018). El impacto económico de la regulación

tecnológica en las empresas mexicanas en el contexto del tratamiento de aguas residuales es una consideración esencial. El cumplimiento normativo a menudo implica costos comerciales, incluidas inversiones en nuevas tecnologías, actualizaciones de equipos y ajustes operativos. Estas cargas financieras pueden afectar la competitividad de las empresas, especialmente las PyMES que pueden tener recursos limitados. Varios estudios destacan las implicaciones económicas de la regulación tecnológica en las empresas del sector de tratamiento de aguas residuales en México (Valdivia Alvarado *et al.*, 2021; Casiano Flores *et al.*, 2019; Gutiérrez, 2008). Por ejemplo, Valdivia Alvarado *et al.* (2021) analizaron el marco legal en materia de gestión de aguas residuales. El cumplimiento de las regulaciones de aguas residuales requiere inversiones comerciales sustanciales, lo que puede plantear desafíos, especialmente para las PyMES con capacidades financieras limitadas (Valdivia Alvarado *et al.*, 2021).

Casiano Flores *et al.* (2019) también evaluaron tres casos subnacionales en el centro de México para examinar el papel del estado en el estímulo de la política de tratamiento de aguas residuales. El estudio encontró que el cumplimiento normativo a menudo implica cargas financieras para las empresas, particularmente en lo que respecta a la adopción de tecnología y los ajustes operativos, lo que puede afectar su competitividad (Casiano Flores *et al.*, 2019). Sin embargo, es imperativo tener en cuenta que el cumplimiento normativo también puede crear oportunidades económicas para las empresas en el sector del tratamiento de aguas residuales. Al promover prácticas sostenibles de tratamiento de aguas residuales, las regulaciones impulsan el desarrollo y la adopción de tecnologías innovadoras. Esto, a su vez, abre nuevos mercados y perspectivas comerciales para las empresas especializadas en soluciones de tratamiento de aguas residuales. El cumplimiento de las normas ambientales puede mejorar la reputación de una entidad y fortalecer su competitividad en el mercado (Casiano Flores *et al.*, 2019). Los acuerdos y protocolos internacionales ratificados por México, como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y la Convención Ramsar sobre Humedales, influyen en las políticas y normas ambientales del país (Tabla-Vázquez *et al.*, 2020). El cumplimiento de estos acuerdos enfatiza la importancia de la gestión y conservación sostenible del agua, promoviendo la reputación de las empresas que observan prácticas

de tratamiento de aguas residuales respetuosas con el medio ambiente (Tabla-Vázquez *et al.*, 2020).

Además, Gutiérrez (2008) discutió los estándares y umbrales para las descargas de aguas residuales en México, mostrando el papel de las regulaciones en la protección de los recursos hídricos. El cumplimiento normativo es fundamental para mantener el equilibrio ecológico y la protección del medio ambiente, contribuyendo al desarrollo sostenible y la competitividad de las empresas en el tratamiento de aguas residuales (Gutiérrez, 2008). Por lo tanto, si bien el cumplimiento normativo en el tratamiento de aguas residuales puede imponer cargas financieras a las empresas, estudios y marcos legales destacan la oportunidades económicas y beneficios de adoptar prácticas sostenibles de tratamiento de aguas residuales. El cumplimiento de las normas ambientales mejora la reputación de una empresa y abre nuevos mercados y perspectivas comerciales, mejorando en última instancia la competitividad en el panorama empresarial mexicano.

Las medidas regulatorias son fundamentales para promover la innovación y la competitividad en el tratamiento de aguas residuales. Cuando las regulaciones equilibran la protección ambiental y las consideraciones económicas, crean un entorno propicio para que las empresas innoven (Ouyang, Li y Du, 2020). Las reglas transparentes y predecibles brindan a las empresas la confianza para invertir en investigación y desarrollo, lo que conduce a avances tecnológicos en el tratamiento de aguas residuales (Ouyang, Li y Du, 2020). Por ejemplo, las regulaciones pueden establecer objetivos o estándares específicos para la eliminación de contaminantes o la calidad de los efluentes, lo que impulsa a las empresas a desarrollar soluciones innovadoras para cumplir con estos requisitos (Silva, 2019). Al establecer objetivos y pautas claros, las regulaciones brindan un marco para que las empresas centren sus esfuerzo de investigación y desarrollo (I+D) en las tecnologías de tratamiento de aguas residuales para que sean más eficientes, rentables y sostenibles (Silva, 2019). Los marcos regulatorios que fomentan la colaboración de las partes interesadas y el intercambio de conocimientos pueden estimular significativamente la innovación y la competitividad (Silva, 2019). Cuando las asociaciones de la industria, las instituciones de investigación y las agencias gubernamentales trabajan juntas pueden aunar recursos, compartir experiencia y fomentar ecosistemas de innovación (Silva, 2019). Esta colaboración

permite el intercambio de información sobre tecnologías emergentes, mejores prácticas y hallazgos de investigación, lo que acelera el desarrollo y la adopción de soluciones de vanguardia en el tratamiento de aguas residuales (Silva, 2019). El Consejo Nacional de Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) promueve la innovación y la competitividad financiando y apoyando proyectos de I+D en diversos sectores, incluido el tratamiento de aguas residuales. Conahcyt fomenta la colaboración entre la academia, la industria y el gobierno a través de programas y subvenciones, lo que facilita el intercambio de conocimientos y la transferencia de tecnología (Silva Payró *et al.*, 2016). Las medidas regulatorias pueden incentivar a las empresas a adoptar tecnologías emergentes proporcionando apoyo financiero o incentivos fiscales.

Conclusiones

Esta investigación destaca la importancia de los marcos regulatorios en la configuración de la competitividad de las empresas mexicanas en el sector de tratamiento de aguas residuales. El estudio enfatiza la necesidad de un entorno regulatorio coherente y bien diseñado que equilibre la sostenibilidad ambiental y el crecimiento económico. Las regulaciones claras y predecibles juegan un papel vital en el fomento de la innovación, la atracción de inversiones y la posibilidad de que las empresas sigan siendo competitivas en el mercado en evolución. Los hallazgos demuestran que las tecnologías emergentes en el tratamiento de aguas residuales ofrecen oportunidades considerables para que las empresas mexicanas mejoren su eficiencia, reduzcan costos y cumplan con estándares ambientales cada vez más estrictos. Sin embargo, es crucial equilibrar los requisitos reglamentarios y la flexibilidad necesaria para que las empresas innoven y se adapten a las condiciones cambiantes del mercado. La colaboración y el diálogo entre los formuladores de políticas, los organismos reguladores y las empresas son esenciales para desarrollar regulaciones efectivas que promuevan la innovación, faciliten el crecimiento de la industria y aseguren la sostenibilidad ambiental. Los encargados de la formulación de políticas y los organismos reguladores deben apuntar a optimizar y simplificar el proceso regulatorio, asegurando que las regulaciones sean transparentes, consistentes y respalden los avances tecnológicos.

Bibliografía

- Andreottola, G., y Foladori, P. (2006). A review and assessment of emerging technologies for the minimization of excess sludge production in wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 41(9), 1853-1872. <https://doi.org/10.1080/10934520600779026>
- Anwer, A.H., Khan, M.D., Khan, M.Z., y Joshi, R. (2020). Microbial Electrochemical Cell: An Emerging Technology for Waste Water Treatment and Carbon Sequestration. En M. Oves, M. Ansari, M. Zain Khan, M. Shahadat, I. M.I. Ismail (Eds), *Modern Age Waste Water Problems: Solutions Using Applied Nanotechnology* (pp. 339–360). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-08283-3_17
- Armah, E. K., Chetty, M., Adedeji, J. A., Kukwa, D. T., Mutsvene, B., Shabangu, K. P., y Bakare, B. F. (2020). Emerging trends in wastewater treatment technologies: the current perspective. *Promising Techniques for Wastewater Treatment and Water Quality Assessment*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93898>
- Casiano Flores, C., Özerol, G., Bressers, H., Kuks, S., Edelenbos, J., y Gleason, A. (2019). The state as a stimulator of wastewater treatment policy: A comparative assessment of three subnational cases in central Mexico. *Journal of Environmental Policy y Planning*, 21(2), 134-152. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2019.1566060>
- Cornelissen, E. R., Harmsen, D., Beerendonk, E. F., Qin, J. J., Oo, H., De Korte, K. F., y Kappelhof, J. W. M. N. (2011). The innovative osmotic membrane bioreactor (OMBR) for reuse of wastewater. *Water Science and Technology*, 63(8), 1557-1565. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.206>
- Davidson, N. C. (2018). Ramsar convention on wetlands: scope and implementation. En C. M. Finlayson, M. Everard, K. Irvine, R. J. McInnes, B. A. Middleton, A. A. Van Dam y N. C. Davidson (Eds.), *The Wetland Book: I: Structure and Function, Management, and Methods* (pp. 451-458). Springer.
- Deng, Y., y Zhao, R. (2015). Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment. *Current Pollution Reports*, 1, 167-176. <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0015-z>
- Dereli, R. K., Clifford, E., y Casey, E. (2021). Co-treatment of leachate in municipal wastewater treatment plants: Critical issues and emerging technologies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(11), 1079-1128. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1745014>
- Dohare, D., y Trivedi, R. (2014). A review on membrane bioreactors: an emerging technology for industrial wastewater treatment. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4(12), 226-236. <https://shorturl.at/fCNW0>
- Dong, H., Feng, X., Guo, Y., Jia, Z., Zhang, X., Xu, A., y Li, X. (2021). Bicarbonate activated hydrogen peroxide with cobalt nanoparticles embedded in nitrogen-doped carbon nanotubes for highly efficient organic dye degradation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 630, 127645. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127645>
- Edwards, S. J., y Kjellerup, B. V. (2013). Applications of biofilms in bioremediation and biotransformation of persistent organic pollutants, pharmaceuticals/personal care

- products, and heavy metals. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97, 9909-9921. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5216-z>
- Escapa, A., Mateos, R., Martínez, E. J., y Blanes, J. (2016). Microbial electrolysis cells: An emerging technology for wastewater treatment and energy recovery. From laboratory to pilot plant and beyond. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 942-956. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.029>
- Ford, J., Maillet, M., Pouliot, V., Meredith, T., Cavanaugh, A., y IHACC Research Team. (2016). Adaptation and Indigenous peoples in the United Nations Framework Convention on Climate Change. *Climatic Change*, 139, 429-443. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1820-0>
- Garrone, P., Grilli, L., Groppi, A., y Marzano, R. (2018). Barriers and drivers in the adoption of advanced wastewater treatment technologies: a comparative analysis of Italian utilities. *Journal of Cleaner Production*, 171, S69-S78. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.018>
- González, R. C. (2013). Punitive damages and their alternatives in Mexican environmental law. *Mexican law review*, 6(1), 45-74. [https://doi.org/10.1016/S1870-0578\(16\)30019-1](https://doi.org/10.1016/S1870-0578(16)30019-1)
- Gutiérrez, C. (2008). Standards and Thresholds for Waste Water Discharges in Mexico. En M. Schmidt, J. Glasson, L. Emmelin y H. Helbron (Eds.), *Standards and Thresholds for Impact Assessment. Environmental Protection in the European Union* (113-124). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-31141-6_9
- Jawad, A., Chen, Z., y Yin, G. (2016). Bicarbonate activation of hydrogen peroxide: A new emerging technology for wastewater treatment. *Chinese Journal of Catalysis*, 37(6), 810-825. [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(15\)61100-7](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(15)61100-7)
- Kadier, A., Kalil, M. S., Abdeshahian, P., Chandrasekhar, K., Mohamed, A., Azman, N. F., Logroño, W., Simayi, Y., y Hamid, A. A. (2016). Recent advances and emerging challenges in microbial electrolysis cells (MECs) for microbial production of hydrogen and value-added chemicals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 501-525. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.017>
- Kan, H., Soklun, H., Yang, Z., Wu, R., Shen, J., Qu, G., y Wang, T. (2020). Purification of dye wastewater using bicarbonate activated hydrogen peroxide: Reaction process and mechanisms. *Separation and Purification Technology*, 232, 115974. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115974>
- Krishnamoorthy, S., Selvasembian, R., Rajendran, G., Raja, S., y Wintgens, T. (2019). Emerging technologies for wastewater treatment and reuse. *Water Science and Technology*, 80(11), 3-4. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.088>
- Martínez-Orgániz, Á., Herrera-Navarrete, R., Pineda-Mora, D., Del Carmen-Niño, V., y Balbuena-Hernández, R. I. (2018). Reuse of Treated Water from Municipal Treatment Plants in Mexico. <https://doi.org/10.5772/intechopen.107204>
- Nidheesh, P. V., Ravindran, V., Gopinath, A., y Kumar, M. S. (2022). Emerging technologies for mixed industrial wastewater treatment in developing countries: An overview. *Environmental Quality Management*, 31(3), 121-141. <https://doi.org/10.1002/tqem.21762>

- Obotey Ezugbe, E., y Rathilal, S. (2020). Membrane technologies in wastewater treatment: a review. *Membranes*, 10(5), 89. [https://doi.org/ https://doi.org/10.3390%2Fmembranes10050089](https://doi.org/10.3390%2Fmembranes10050089)
- Ouyang, X., Li, Q., y Du, K. (2020). How does environmental regulation promote technological innovations in the industrial sector? Evidence from Chinese provincial panel data. *Energy Policy*, 139, 111310. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111310>
- Paździor, K., Bilińska, L., y Ledakowicz, S. (2019). A review of the existing and emerging technologies in the combination of AOPs and biological processes in industrial textile wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 376, 120597. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.12.057>
- Phoon, B. L., Ong, C. C., Saheed, M. S. M., Show, P. L., Chang, J. S., Ling, T. C., Lam, S. S., y Juan, J. C. (2020). Conventional and emerging technologies for removal of antibiotics from wastewater. *Journal of hazardous materials*, 400, 122961. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122961>
- Ramírez-Sosa, D. R., Castillo-Borges, E. R., Méndez-Novelo, R. I., Sauri-Riancho, M. R., Barceló-Quintal, M., y Marrufo-Gómez, J. M. (2013). Determination of organic compounds in landfill leachates treated by Fenton-Adsorption. *Waste Management*, 33(2), 390-395. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.07.019>
- Rashid, R., Shafiq, I., Akhter, P., Iqbal, M. J., y Hussain, M. (2021). A state-of-the-art review on wastewater treatment techniques: the effectiveness of adsorption method. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 9050-9066. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12395-x>
- Ronderos-Lara, J. G., Saldarriaga-Noreña, H., Reyes-Romero, P. G., Chávez-Almazán, L. A., Vergara-Sánchez, J., Murillo-Tovar, M. A., y Torres-Segundo, C. (2020). Emerging Compounds in Mexico: Challenges for Their Identification and Elimination in Wastewater. En A. Nuro (Ed.), *Emerging Contaminants*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93909>
- Silva Payró, M. P., García Martínez, V., y Aquino Zúñiga, S. P. (2016). Growth challenges of the national system of researchers (SNI) of the national council of science and technology (conacyt) in Mexico. *Actualidades Investigativas en Educación*, 16(2), 370-394. <http://dx.doi.org/10.15517/aie.v16i2.23931>
- Silva, J. A. (2019). Environmental Responsibility in Mexico. *Revista espacios*, 40(30). <https://www.revistaespacios.com/a19v40n30/19403018.html>
- Tabla-Vázquez, C. G., Chávez-Mejía, A. C., Orta Ledesma, M. T., y Ramírez-Zamora, R. M. (2020). Wastewater Treatment in Mexico. En J. de Anda Sánchez (Ed.), *Water Resources of Mexico* (pp. 133-155). Springer International Publishing
- Tak, S. S., Shetye, O., Muley, O., Jaiswal, H., y Malik, S. N. (2022). Emerging technologies for hydrogen production from wastewater. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(88), 37282-37301. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.225>
- Tetteh, E. K., Rathilal, S., Chetty, M., Armah, E. K., y Asante-Sackey, D. (2019). Treatment of water and wastewater for reuse and energy generation-emerging technologies. En M. Eyvaz (Ed.), *Water and wastewater treatment* (53-80). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.84474>

- Tijani, J. O., Fatoba, O. O., Madzivire, G., y Petrik, L. F. (2014). A review of combined advanced oxidation technologies for the removal of organic pollutants from water. *Water, Air, y Soil Pollution*, 225, 1-30. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2102-y>
- Urbina-Suarez, N. A., Rivera-Cacedo, C., González-Delgado, Á. D., Barajas-Solano, A. F., y Machuca-Martínez, F. (2023). Bicarbonate-Hydrogen Peroxide System for Treating Dyeing Wastewater: Degradation of Organic Pollutants and Color Removal. *Toxics*, 11(4), 366. <https://doi.org/10.3390/toxics11040366>
- Valdivia Alvarado, A. T., Gámez, A. E., Beltrán Morales, L. F., y Ortega-Rubio, A. (2021). Mexico's Legal Framework Regarding Wastewater Management: A Case Study of Baja California Sur. *Mexican law review*, 13(2), 115-150. <https://doi.org/10.22201/ij.24485306e.2021.2.15337>
- Valladares Linares, R., Domínguez-Maldonado, J., Rodríguez-Leal, E., Patrón, G., Castillo-Hernández, A., Miranda, A., Díaz Romero, D., Moreno-Cervera, R., Camara-chale, G., Borroto, C. G. y Alzate-Gaviria, L. (2019). Scale up of microbial fuel cell stack system for residential wastewater treatment in continuous mode operation. *Water*, 11(2), 217. <https://doi.org/10.3390/w11020217>
- Vogelpohl, A., y Kim, S. M. (2004). Advanced oxidation processes (AOPs) in wastewater treatment. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 10(1), 33-40. <https://www.cheric.org/PDF/JIEC/IE10/IE10-1-0033.pdf>
- Wang, X., Chang, V. W., y Tang, C. Y. (2016). Osmotic membrane bioreactor (OMBR) technology for wastewater treatment and reclamation: Advances, challenges, and prospects for the future. *Journal of Membrane Science*, 504, 113-132. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2016.01.010>
- Wilder, M. (2010). Water governance in Mexico: political and economic apertures and a shifting state-citizen relationship. *Ecology and Society*, 15(2). <http://www.jstor.org/stable/26268136>
- Younas, F., Mustafa, A., Farooqi, Z. U. R., Wang, X., Younas, S., Mohy-Ud-Din, W., Ashir Hameed, M., Mohsin Abrar, M., Maitlo, A. A., Noreen, S., y Hussain, M. M. (2021). Current and Emerging Adsorbent Technologies for Wastewater Treatment: Trends, Limitations, and Environmental Implications. *Water*, 13(2), 215. <https://doi.org/10.3390/w13020215>

2. El papel de las escuelas verdes en la concientización y acción contra el cambio climático en México¹

HÉCTOR GUADALUPE RAMÍREZ ESCAMILLA*

DIEGO DOMÍNGUEZ SOLÍS**

MARÍA CONCEPCIÓN MARTÍNEZ RODRÍGUEZ***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.187.02>

Resumen

La educación desempeña un papel fundamental en la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible, ya que debe estar al alcance de todos y ofrecer una calidad integral que incluya la información ambiental que fomente una mejor interacción humano-ambiente. De esta manera, surge el concepto de escuelas verdes como instituciones encargadas de promover la educación ambiental y plasmar en sus estructuras el uso de materiales y equipos sustentables. El propósito de esta investigación fue analizar, a partir de una revisión bibliográfica de estudios sobre escuelas verdes, para identificar experiencias tanto a nivel internacional como nacional relacionadas con la implementación de estas instituciones, haciendo hincapié en la importancia que estas tienen en la lucha contra el cambio climático, como una herramienta que permita la extensión de conocimiento ambiental. En México se han iniciado estrategias como la certificación de instituciones aca-

¹ Derivado del proyecto de Investigación SIP 20231182 del Instituto Politécnico Nacional.

* Ingeniero ambiental. Estudiante del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEEMAD), Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9440-4644>

** Ingeniero ambiental. Estudiante del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEEMAD), Instituto Politécnico Nacional, México. OCID: <https://orcid.org/0000-0001-8402-5157>

*** Doctora en Política Pública. Profesora en el Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEEMAD), Instituto Politécnico Nacional. México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3094-54111>

démicas sostenibles, la gestión integral de residuos y la promoción de la educación ambiental. Sin embargo, se requiere una mayor atención a este concepto para avanzar hacia una mayor concientización y abordar de manera efectiva la problemática del cambio climático a través de la integración de soluciones sustentables a favor del ahorro de energía y un aprovechamiento racional de recursos.

Palabras clave: *Escuelas verdes, cambio climático, ODS, educación ambiental, soluciones sustentables.*

Introducción

En 2015, 193 naciones se comprometieron a cumplir con una serie de objetivos de desarrollo sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas, con una fecha límite para su realización en 2030. Estos objetivos están orientados a promover la igualdad entre las personas tanto en oportunidades como económicamente, proteger el planeta y asegurar la prosperidad, todo bajo el esquema de construcción de una nueva agenda de desarrollo sostenible. La educación toma parte dentro de los 17 ODS, específicamente en el número 4 “educación de calidad” (Naciones Unidas, 2015). La educación es abordada dentro de estos objetivos para responder a los desafíos que enfrentan ciertos países donde la provisión de educación gratuita y de calidad es un problema. Con este propósito se busca la colaboración de las naciones participantes y el compromiso de sus líderes para efectuar transformaciones significativas en los sistemas de educación básica a nivel global.

Dicho lo anterior, la educación se posiciona como uno de los pilares fundamentales para provocar cambios tanto a nivel individual como nacional. Esto cobra una importancia especial al considerar el enfoque ambiental, dado que la adopción de prácticas sostenibles y la comprensión de conceptos afines desempeñan un papel central en la habilidad de una nación para ajustar su consumo y gestión de recursos; esto se convierte en una medida esencial en respuesta al desafío del cambio climático.

De esta manera, se abre una nueva área de oportunidad que involucra la creación de instituciones educativas que profundicen en cuestiones

medioambientales y que, al mismo tiempo, integren prácticas sostenibles en sus infraestructuras. Se prioriza especialmente el apoyo a comunidades desatendidas en materia educativa.

Este enfoque da lugar a la educación ambiental, un proceso que permite a las personas investigar y comprender temas relacionados con el medio ambiente. Les capacita para involucrarse en la resolución de problemas ambientales y tomar medidas concretas para mejorar su entorno (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [EPA], s.f.). A este enfoque se suma el concepto de “escuelas verdes” (Gs, por sus siglas en inglés), que son instalaciones escolares diseñadas para promover un entorno saludable y proporcionar educación en prácticas sostenibles, como la eficiencia energética y la gestión de recursos, con el objetivo de combatir el cambio climático. Este último, a su vez, se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 13, aborda la “acción por el clima” (Naciones Unidas, 2015). La educación desempeña un papel fundamental en esta transición hacia prácticas sostenibles y la lucha contra el cambio climático, ya que lo que comienza como una acción individual puede extenderse a nivel nacional o incluso global a través de la comunicación y la transmisión del conocimiento.

La presente investigación tiene como finalidad brindar un análisis exhaustivo, a través de una revisión bibliográfica acerca de las Gs, abordando desde su definición, características y requerimientos. Además, se explorarán ejemplos de éxito en países que ya han implementado las Gs. El estudio también se enfocará en destacar la relevancia de las Gs en México, proporcionando una justificación sólida para su implementación, además de destacar los elementos que ya se han ejecutado en el país. Este análisis en profundidad de la situación educativa permitirá corroborar la relevancia de las Gs y la educación ambiental como dos estrategias para contrarrestar el cambio climático, además de reconocer sus beneficios en la reducción del impacto ambiental.

Desarrollo

Definición, características de una gs

La sustentabilidad es uno de los términos importantes a considerar dentro de lo que son las gs, algunos lo definen como un amplio acuerdo que trata de equilibrar e integrar elementos ambientales, sociales y económicos. La integración de este término proporciona una definición más completa de lo que es una gs, ya que abarca tanto las prácticas como las edificaciones sustentables. Estas no solo buscan un óptimo desempeño ambiental y económico, sino que también promuevan la eficiencia a través del ahorro de energía y agua. Además, se centra en la creación de espacios interiores satisfactorios, productivos y de alta calidad, así como en la selección de materiales que minimizan el impacto ambiental. Por otro lado, las gs tienen como objetivo educar a los ocupantes del edificio sobre la importancia de la eficiencia y conservación de recursos (Olson y Kellum, 2003; Gordon, 2010). A continuación en la tabla 1 se presentan algunas de las definiciones propuestas por distintos autores sobre lo que es una gs:

Tabla 1. *Recopilación de definiciones sobre gs*

Autor	Definición de una gs
U.S. Green Building Council (USGBC)	Es un espacio educativo o unas instalaciones que generan un entorno propicio para el aprendizaje, al tiempo que promueven la eficiencia energética y la conservación de recursos, lo que lleva a ahorros económicos.
The Center for Green Schools	Es una institución comprometida con la sostenibilidad global en todos sus aspectos. Una gs diseña una experiencia de aprendizaje para los estudiantes con el propósito de guiar con acciones el mundo hacia un futuro saludable, limpio y sostenible.
Gordon (2010)	Es una instalación construida para proporcionar aire limpio y fresco, un rango de temperatura cómodo, abundante luz y poca distracción por ruidos no deseados, al mismo tiempo que minimiza la contaminación y maximiza la eficiencia de los recursos, además de enseñar a los estudiantes la importancia de la innovación en el entorno construido.
Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2020)	Es un espacio que integra la práctica de sustentabilidad ambiental como valor fundamental en todos sus aspectos. Para que una escuela pueda adoptar un enfoque “verde” o sustentable, es necesario llevar a cabo cambios en las políticas, rutinas y operaciones, alentando activamente la transformación de hábitos entre los estudiantes, los padres de familia y los docentes en relación con la protección del medio ambiente.

Nota: Adaptado a partir de Ramli *et al.* (2012).

En resumen, una GS promueve procesos de enseñanza y aprendizaje vinculados con la educación ambiental, fomentando prácticas sustentables y gestionando ambientalmente sus recursos, además de proveer instalaciones que reflejen un sistema sustentable que a su vez garantiza la calidad de la educación y, a su vez, se tiene un acercamiento a la relevancia del ambiente, pero visto desde la estructura de estas GS (Buenos Aires Ciudad, 2014).

Como se puede observar existe diferencias entre las distintas formas de referirse a lo que es una GS, algunas de estas definiciones hacen mención sobre las enseñanzas y lo que se busca inculcar de conocimientos en estas instituciones, otras definiciones describen que las GS deben serlo desde su infraestructura hasta su enseñanza. Ramli *et al.* (2012) describe una lista de características que son importantes para desarrollar, construir y diseñar una GS que se centre en promover la sostenibilidad, la educación ambiental y la responsabilidad ecológica (tabla 2). Las GS se caracterizan por tener programas de educación ambiental, sistemas de gestión ambiental y un esquema de premios que promueve y reconoce la acción escolar integral para el medio ambiente (Zhao *et al.*, 2015).

Tabla 2. Características que debe considerar una GS

Una GS requiere:	
1. Conservar la energía y agua	6. Gestionar los residuos, además de fomentar la reducción, reutilización y reciclaje
2. Garantizar la calidad del aire interior, es decir, tener un sistema de ventilación apropiado	7. Proveer espacios verdes con fines educativos
3. Remover la presencia de materiales tóxicos	8. Certificarse y ser reconocida por sus esfuerzos en favor de la sustentabilidad
4. Emplear estrategias de iluminación natural	9. Innovación y mejora continua
5. Participación de la comunidad en actividades sustentables	10. Promueve la protección de hábitats naturales

Como se puede apreciar, los requisitos mencionados son fundamentales para que una GS cumpla con los estándares necesarios y garantice la sostenibilidad y la importancia del cuidado del medio ambiente en las prácticas educativas. La incorporación de estos elementos no solo contribuye al bienestar del planeta, sino que también enriquece la educación de los estudiantes, haciéndola más completa y pertinente.

Al incorporar estos requisitos, las GS no solo reducen su impacto ambiental, sino que también fomentan la responsabilidad ecológica en las nue-

vas generaciones y promueven un sentido de cuidado por el medio ambiente, que tomaran relevancia en las acciones y desafíos contra el cambio climático.

Análisis bibliométrico de gs

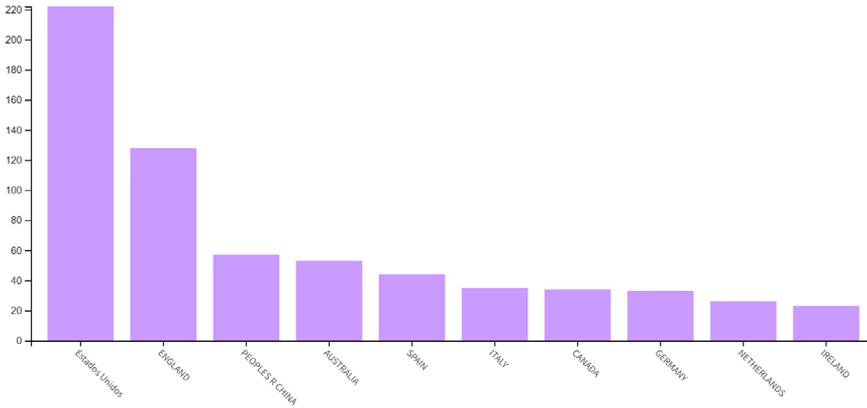
Para realizar la revisión bibliométrica se empleó la base de datos *Web of Science*. A través de esta plataforma se recuperaron artículos y se obtuvo información que permitió llevar a cabo un análisis bibliométrico preciso sobre los temas que se están abordando con mayor frecuencia o que guardan una mayor relación con el concepto de gs.

Para llevar a cabo el análisis bibliométrico, se utilizó la palabra clave “Green Schools” en la base de datos, lo que resultó en la recuperación de un total de 7,487 artículos. Luego, se delimitó el período de tiempo a los últimos 10 años (2013-2023), con el objetivo de abarcar tanto los acontecimientos previos como posteriores a la aprobación de los ODS. Se aplicó un filtro adicional para incluir solo artículos y revisiones de acceso libre. Finalmente, se seleccionaron las categorías de revistas que se centran en la educación y el medio ambiente, lo que permitió reducir la muestra a 721 artículos.

Posteriormente, se recuperó la información de estos artículos y se sometieron a un análisis utilizando el gestor bibliográfico *VOSViewer*. Con esta herramienta, se pudo visualizar la relación entre las palabras clave y los temas asociados a gs, particularmente en lo que respecta a su relación con el cambio climático. Este análisis se llevó a cabo con el propósito de confirmar la importancia de la integración de estos dos temas en la toma de decisiones y acciones en beneficio del medio ambiente y la sociedad.

El esquema de la figura 1 se representa la relación entre palabras claves con la palabra central que es gs, además se puede apreciar con la dimensión de las esferas la frecuencia o las veces en que los autores han abordado este tema, siendo las que frecuentemente se relacionan con niños, educación, salud y desempeño, que se abordaron con mayor frecuencia en el periodo comprendido entre 2019 y 2020. En lo que respecta a la relación entre las gs y el cambio climático, se percibe una conexión evidente a través de términos como educación y su impacto ambiental. Esta relación se origina en

Gráfica 1. Productividad de los países en temas de gs



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de *Web of Science*.

Una vez conocido los países que han trabajado este tema, se revisó algunos de los artículos para rescatar información sobre como casos exitosos a nivel internacional que reconocen la importancia de la implementación de gs. A continuación se resume la información recuperada.

En Estados Unidos, el 80% de las comunidades más grandes del país están comprometidas en construir una gs cada cinco años. Los requisitos básicos bajo los cuales se rigen las gs son la eficiencia energética, la eficiencia de los recursos y la reducción de las emisiones de dióxido de carbono. Los estudiantes deben tener un buen ambiente para aprender, por lo que se debe crear un ambiente interior que proporcione las mejores condiciones, además de garantizar la educación ambiental (Zhao *et al.*, 2015).

En Inglaterra se realizó un estudio sobre escuelas financiadas por el gobierno y no financiadas por el gobierno, encontrándose que los espacios verdes eran mayores en este último, la relevancia es que la percepción de estos espacios mejoraba la conexión y apreciación de los estudiantes hacia la biodiversidad, relacionándolo con un ambiente armonioso y eso, a su vez, promueve la preservación de especies (Howlett y Turner, 2023).

En las últimas décadas, el gobierno central de Taiwán ha trabajado en implementar el concepto de sostenibilidad. En 1999, el ministerio de educación promovió y financió un proyecto de asociación a gs. Se identificaron

tres criterios o indicadores de una GS exitosa en Taiwán, las cuales son: (1) Participación y asociación, (2) Reflexión y aprendizaje y (3) Consideraciones ecológicas (Olsson *et al.*, 2019).

Las GS en Taiwán involucran a los estudiantes en la investigación ambiental para aumentar el conocimiento, las actitudes y las habilidades ambientales de los estudiantes y para actuar en armonía con las personas y la naturaleza. la mayoría de los proyectos de GS se enfoca en los niveles de estudio básico para poder motivar, formar comportamientos y compromisos en favor al ambiente.

En Singapur, las escuelas de nivel básico se han centrado en la sostenibilidad al incorporar paneles solares en sus instalaciones, implementar programas de reciclaje y promover la educación ambiental entre los estudiantes. Además, han diseñado jardines de lluvia y áreas verdes para la absorción de aguas pluviales y la promoción de la biodiversidad (Yaohui, 2022).

Postura de México sobre las GS

En México existe un gran número de escuelas públicas que carecen de instalaciones adecuadas para que los niños reciban educación de calidad. Pero a pesar de esta situación existen algunas escuelas que cuentan con estructuras orientadas a la ecología. Entre alguno de estos casos se encuentra el jardín de niños “Nueva Creación” en Quintana Roo. Dicho proyecto cuenta con un programa integral de Educación Ambiental, cuyos temas van desde el cuidado de la flora, aprovechamiento del agua y manejo de residuos sólidos (*Revista Open*, 2020).

Otro de los programas implementados en México es “Crea Bosques” operado por la organización Reforestamos México; este programa tiene el objetivo de fomentar una cultura forestal entre los estudiantes de nivel básico. Así mismo, en la Ciudad de México fue creada la primera comunidad ecológica, cuyo objetivo es que todas las casas cuenten con jardines y huertos en las azoteas, además de sistemas de reutilización de agua pluvial y energía eléctrica limpia (*Revista Open*, 2020). A continuación, se resaltan algunos de los aspectos que México ha comenzado a incorporar, como certificaciones y programas de sustentabilidad, gestión.

Certificaciones y programas de sustentabilidad

En México existen algunas certificaciones para estructuras e instalaciones que promuevan el uso de tecnologías menos contaminantes en su diseño. El Centro de Educación y capacitación para el Desarrollo Sustentable, junto con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), describen a partir de una guía la certificación ambiental de escuelas (Semarnat, s.f.).

La certificación se otorga a aquellas instituciones que puedan promover prácticas en materia ambiental a sus estudiantes y que puedan comprobarlo mediante un programa de acción ambiental escolar.

La certificación consta de dos niveles (Semarnat, s.f.):

Nivel 1. Certificado: Escuela Verde. Lo recibe la institución que desarrolla sin interrupción su programa ambiental en todo el ciclo escolar.

Nivel 2. Certificado: Escuela Líder Ambiental. Lo recibe aquella institución que cumple con lo pactado en el nivel 1 y cuenta con su programa de acción ambiental; opera, registra y documenta un excelente desempeño en educación ambiental, residuos sólidos, agua, electricidad y acciones ambientales comunitarias.

Gestión de residuos

Las escuelas de los distintos niveles de educación en México han comenzado a implementar dentro de sus instalaciones programas para la gestión integral de los residuos generados por sus comunidades estudiantiles. A su vez, también se promueve el uso de materiales que sustituyan los plásticos de un solo uso, como cubiertos, cucharas, popotes, entre otros.

Estas actividades, si bien pueden parecer sencillas, con respecto a las características que implica una GS, son un avance si se quiere lograr que los estudiantes sean la fuente de propagación de información para lograr cambiar hábitos en contra de la sustentabilidad. Por lo que la clasificación de los residuos, a su vez, facilita la recuperación de materiales de interés y con potencial de reciclaje.

Educación ambiental

Este es uno de los temas que mayor peso tienen dentro de la transición hacia una GS. En México se han abordado e introducido prácticas que implican la relación y la importancia del medio ambiente, sin embargo aún es algo escaso en cuanto a la introducción de estos temas en los niveles básicos, ya que esto facilitaría la concientización de los estudiantes en su entorno y en un futuro podrá formar personas capaces de distinguir y actuar con base al conocimiento e identificar las actividades que realmente impactan al ambiente.

Las GS demandarán nuevas áreas de conocimiento y, a su vez, especialidades en un futuro no muy lejano en el país; entre estas carreras innovadoras se incluye la economía circular, un tema que puede ser conjuntado con el de GS. Con una economía de este tipo se pueden tener mejores aprovechamientos en materias primas y reducir aún más los gastos por recursos. Otra especialidad es la infraestructura verde, este tipo de estructuras serán requeridas para la construcción de las mismas GS y en la adecuación de las instalaciones educativas ya existentes.

Percepción de las GS

De acuerdo con Meiboudi *et al.* (2018), la implementación de las GS busca crear ciudadanos con responsabilidad social y ambiental para apoyar el desarrollo sostenible. De esta forma, se dice que la percepción en el ámbito ambiental es la forma en que cada persona valora la naturaleza que lo rodea. Casa *et al.* (2019) mencionan que ésta implica la forma de identificar el ambiente a través de los sentidos, ya sean positivos o negativos y cómo esto impacta en la relación ambiente y sociedad. La percepción ambiental nos brinda un soporte para la planificación ambiental (Espino-Román *et al.*, 2015).

La percepción de las GS en los estudiantes permite entender el vínculo de este sector con el medio ambiente para proponer acciones que pueden implementarse. Este proceso de entendimiento implica reconocer la participación y opinión con el entorno que los rodea. Se requieren actividades

en las escuelas verdes que estén enfocadas en cambiar efectivamente el comportamiento de los estudiantes a favor del entorno. Según González *et al.* (2018), este proceso puede influir en los procesos cognitivos, afectivos y conductuales de los alumnos.

La implementación de un plan de estudios basado en el medio ambiente con base en Hidayat *et al.* (2023) está directamente relacionada con el aprendizaje de actividades de protección y a favor de preservar el ambiente. Un estudio realizado por Hidayat *et al.* (2023) determina que las mejores formas de difundir los conocimientos en materia ambiental son por medio de revistas murales, boletines escolares, exposiciones, sitio web y medios electrónicos. El conocimiento transmitido a los estudiantes en las GS es una herramienta integral para resolver los principales problemas ambientales, escolares y de la comunidad.

Los proyectos ambientales que puedan ser implementados como parte de la educación escolar en las GS deben ser acompañados de profesores capacitados que ayuden a mantener la atención y entusiasmo del alumnado. La participación de ambos, menciona Girón-Arizmendi y Leyva-Aguilera (2013), constituye un factor clave para el éxito del proyecto, por ello se debe seguir trabajando en su involucramiento, de modo que lo que se aprenda en la escuela se aplique en el hogar; es decir, que cada alumno sea un potencial poseedor de este conocimiento y cumpla con las características necesarias para transmitirlo a las nuevas y viejas generaciones. La percepción de una GS la convierte en una infraestructura necesaria, respetuosa con el medio ambiente, que ayuda a la formación de líderes capaces de resolver problemas y afrontarlos respetando su entorno.

Cambio climático y GS

Las políticas gubernamentales buscan adoptar medidas y acciones para reducir el impacto del cambio climático, las cuales deben ser respaldadas por la sociedad. Saad y Kamarudin (2018) realizaron un estudio para conocer el grado de concientización y apoyo de los estudiantes en las políticas contra el cambio climático, donde encontraron que el conocimiento es el factor

más influyente y sugieren implementar programas como campañas de reciclaje, ahorro de energía y reducción de la huella de carbono.

Las GS no sólo tienen como objetivo formar alumnos con conocimientos para innovar, sino también estudiantes capaces de comprender su entorno y centrar sus esfuerzos en la resolución de problemas ambientales. Sternäng (2012) señala que muchos estudiantes carecen de conocimientos en materia ambiental y tienden a ver el desarrollo económico como la solución a todos los problemas. Es decir, creen que mientras más dinero esté disponible, cualquier problema podrá ser resuelto. De acuerdo con González Gaudio y Meira Carrea (2020) un reducido número de instituciones ha seguido promoviendo programas con diversas denominaciones, como las GS orientadas hacia la sostenibilidad, estos programas buscan inculcar valores ambientales a los estudiantes con el propósito de fomentar acciones integrales de gestión ambiental a través del trabajo en equipo.

Algunos proyectos se centran en la preservación de los recursos comunes, promoviendo la creación de huertos escolares o unidades de producción escolar para mejorar los medios de vida a través del aprendizaje práctico. Las GS desempeñan un papel fundamental en la lucha contra el cambio climático. Su importancia radica en varios aspectos clave:

1. *Concienciación y educación*: Las GS son lugares de aprendizaje donde se pueden transmitir conceptos fundamentales sobre el cambio climático, la conservación de recursos y la sostenibilidad. Esto ayuda a un desarrollo holístico de los individuos y en el cumplimiento del verdadero propósito de la educación (Chitra y Gurung, 2021).
2. *Modelos por seguir*: Estas instituciones educativas sirven como modelos a seguir para la comunidad escolar y la sociedad en general. Al adoptar prácticas sustentables, demuestran cómo es posible vivir de manera más ecológica y según Wang (2015) proporcionan una visión de cómo integrar la sostenibilidad en las prácticas escolares.
3. *Reducción de huella de carbono*: Las GS tienden a implementar medidas que reducen su huella de carbono, como la eficiencia energética, la gestión de residuos y el fomento del transporte sostenible (Saad y Kamarudin, 2018). Esto contribuye directamente a la mitigación del cambio climático.

4. *Participación estudiantil*: De acuerdo con Rahman *et al.* (2020) fomentan la participación de los estudiantes en proyectos relacionados con la sostenibilidad y el medio ambiente, lo que les empodera y les brinda la oportunidad de contribuir a la lucha contra el cambio climático.
5. *Promoción de políticas locales*: Estas escuelas, menciona Tong y Wang (2016), pueden tener influencia en la promoción de políticas ambientales locales y regionales, lo que puede contribuir a un enfoque más amplio en la sostenibilidad.

Conclusión

Las GS representan un enfoque educativo fundamental en la lucha contra el cambio climático, en la promoción de la sostenibilidad ambiental y en permitir alcanzar los ODS, cuya importancia radica en su capacidad para inculcar la conciencia ambiental desde temprana edad, inspirar acciones individuales y colectivas, además de tratar de plasmar un modelo de sostenibilidad en una comunidad en general, ya que las GS también influyen en las comunidades, que a su vez inspiran a otras instituciones y alientan a las mismas en la adopción de prácticas sostenibles.

En el caso de México es importante que se comience por apostar por políticas que permitan la creación e incentiven a la transición de lo que implica una GS, además de reconocer la importancia que tiene abordar temas ambientales en cada uno de los niveles de educación del país, ya que las GS como instituciones no solo enseñan sobre la importancia del cuidado del medio ambiente, sino que también actúan como ejemplos concretos de cómo la sostenibilidad puede ser implementada en la práctica. A través de medidas como la eficiencia energética y el uso de energías limpias, la gestión de residuos y la educación ambiental, las GS contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y en la huella de carbono, dos de los principales detonantes del cambio climático.

En este sentido, las GS no solo contribuyen a la lucha contra el cambio climático, sino que también moldean un futuro en el que la sostenibilidad y la armonía con el entorno son valores centrales. La educación es la base

para la acción y las GS son un componente fundamental en la construcción de un mundo más sostenible y resiliente al cambio climático.

Bibliografía

- Buenos Aires. (2014). Qué es una escuela verde. *Vamos Buenos Aires*. <https://buenosaires.gov.ar/reconocimiento-escuelas-verdes>
- Casa, M., Cusi, L., y Vilca, L. (2019). Percepciones sobre contaminación ambiental y actitudes en estudiantes universitarios. *Revista Innova Educación*, 1(3), 391–399. <https://doi.org/10.35622/j.rie.2019.03.011>
- Chitra, S., y Gurung, M. (2021). The concept of green School in Bhutan for holistic education and development. *Rupkatha Journal on Interdisciplinary Studies in Humanities*, 13(3). <https://doi.org/10.21659/rupkatha.v13n3.03>
- EPA. (s.f.). La importancia de la educación ambiental. *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*. <https://espanol.epa.gov/espanol/la-importancia-de-la-educacion-ambiental>
- Espino-Román, P., Olaguez-Torres, E., y Davizon-Castillo, Y. A. (2015). Análisis de la Percepción del Medio Ambiente de los Estudiantes de Ingeniería en Mecatrónica. *Formación Universitaria*, 8(4), 45-54.
- Girón-Arizmendi, M. H., y Leyva-Aguilera, J. C. (2013). El eje ambiental en la escuela “La Esperanza”: un estudio sobre actitudes y comportamientos ambientales. *Innovación Educativa*, 13(63), 117-147.
- González, A., Machín, F., y Galán, V. (2018). Actitudes ambientales hacia la sostenibilidad agrícola desde la enseñanza de la Física. *Revista Electrónica Opuntia Brava*, 8(2), 17-31. <https://doi.org/https://doi.org/10.35195/ob.v8i2.248>
- González-Gaudiano, E. J., y Meira Cartea, P. Á. (2020). Educación para el cambio climático: ¿educar sobre el clima o para el cambio? *Perfiles educativos*, 42(168), 157–174. <https://doi.org/10.22201/iisue.24486167e.2020.168.59464>
- Gordon, D. E. (2010). Green Schools as High-Performance Learning Facilities. Washington, D.C.: *National Clearinghouse for Educational Facilities*. 1-16. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED512700.pdf>
- Hidayat, A., Utomowati, R., Nugraha, S., Amanto, B. S., Adiasuti, A., y Astirin, O. P. (2023). Students’ Perception of the Green School Program: An evaluation for improving environmental management in schools. *IOP conference series*, 1180(1), 012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1180/1/012029>
- Howlett, K., y Turner, E. (2023). Greenness and biodiversity of open spaces in primary schools and their local surroundings in England. *Environmental Conservation*, 1-11. <https://doi.org/10.1017/S0376892923000255>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.(2020, 25 de agosto). Programa Escuela Verde. *Gobierno de México*. <https://www.gob.mx/inecc/documentos/programa-escuela-verde>

- Meiboudi, H., Lahijanian, A., Shobeiri, S. M., Jozi, S. A., y Azizinezhad, R. (2018). Development of a new rating system for existing green schools in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 188, 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.283>
- Naciones Unidas. (2015). Objetivos de desarrollo sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Olson, S.L., y Kellum, S. (2003). The Impact of Sustainable Buildings on Educational Achievements in K-12 Schools.
- Olsson, D., Gericke, N., Boeve-de Pauw, J., Berglund, T., y Chang, T. (2019). Green schools in Taiwan – Effects on student sustainability consciousness. *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions*, 54, 184–194. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.11.011>
- Rahman, B., Abdurrahman, A., Maulina, H., Sukamto, I., Nurulsari, N., y Putri, R. D. (2020). Reducing the impact of global warming through school based management framework: engaging students' participation in daily life integrated curriculum. *Journal of physics. Conference series*, 1572(1), 012056. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1572/1/012056>
- Ramli, N. H., Masri, M. H., Zafrullah, M., Taib, H. M., y Hamid, N. A. (2012). A comparative study of green school guidelines. *Procedia, Social and Behavioral Sciences*, 50, 462–471. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.08.050>
- Revista Open. (2020, 14 de enero). Escuelas Verdes: el ecoaprendizaje. *Grupomedios*. <https://openrevista.com/tendencias/educacion-espacios-sustentables/>
- Saad, S. y Kamarudin, T.F. (2018). Youth knowledge and support for government policy towards climate change. *Geografia-Malaysian journal of society y amp; space*. 1 (14), pp. 130–141.
- SEMARNAT. (s.f.). Escuela Verde: Certificación Ambiental de Escuelas. *Secretaría de Educación Pública*. <http://cambioclimatico.sev.gob.mx/assets/docs/Guia-y-anexo-EscuelaVerde.pdf>
- Sternäng, L., y Lundholm, C. (2012). Climate Change and Costs: Investigating students' reasoning on nature and economic development. *Environmental Education Research*, 18(3), 417-436. <https://doi.org/10.1080/13504622.2011.630532>
- Tong, P., y Wang, S. (2017). Landscape serving education—inspirations from green school yard in San Francisco. *DEStech transactions on materials science and engineering, icmeat*. <https://doi.org/10.12783/dtmse/icmeat2016/6093>
- Wang, T. (2015). Integrating Sustainability into School Practices: A Model of Developing Green Schools. En *Advances in educational marketing, administration, and leadership book series*. 330–341. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-6312-1.ch026>
- Yaohui, L. (2022). Solar City: The surprising places you will find solar panels in Singapore. The Straits times. <https://www.straitstimes.com/multimedia/graphics/2022/05/singapore-solar-power-panels/index.html?shell>
- Zhao, D.X., He, B.J., y Meng, F.Q. (2015). The green school project: A means of speeding up sustainable development? *Geoforum; Journal of Physical, Human, and Regional Geosciences*, 65, 310–313. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2015.08.012>

3. Análisis de indicadores internacionales de sustentabilidad empresarial como elementos de política pública para el contexto mexicano¹

ALEJANDRO D. CAMACHO VERA*

MARÍA DEL CARMEN MARTÍNEZ CUEVAS**

MARIANA MARCELINO ARANDA***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.187.03>

Resumen

El desarrollo sostenible es el paradigma predominante en las últimas décadas, a partir del año 2015 se marcaron los 17 Objetivos que deberán ser alcanzados por los países miembros de las Naciones Unidas. Bajo este escenario las empresas como un actor importante en el logro de éstos, y por su contribución al progreso económico, el bienestar social y el cuidado del ambiente, realizan esfuerzos por medir sus niveles de sustentabilidad. A través de una revisión y análisis documental, se analizaron los indicadores internacionales de sustentabilidad empresarial, para reconocer aquellos que están establecidos en la política pública del contexto mexicano y que funcionan como guía para la medición de sustentabilidad de las empresas que operan en México. Al respecto se concluye que las empresas dan cuenta de su nivel de sustentabilidad, de manera independiente y voluntaria para

¹ Este capítulo deriva del proyecto de investigación SIP 20230247 "Modelo de negocio sustentable para la empresa familiar rural. Bases conceptuales y empíricas.

* Doctor en Ciencias Biológicas. Profesor e investigador en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB), Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4791-1912>

** Licenciada en Ingeniería Industrial. Estudiante investigadora de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas (UPIICSA), Instituto Politécnico Nacional-UPIICSA, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3318-2333>

*** Doctora en Ciencias de la Administración. Profesora e investigadora en la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas (UPIICSA), Instituto Politécnico Nacional-UPIICSA, México. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4997-0617>

presentarse con una buena imagen ante las partes interesadas, informar e influir en su opinión sobre la empresa, para cumplir con la normatividad y para obtener beneficios financieros. Si en México las empresas se reconocen como un actor importante que tiene el potencial de acelerar la implementación de la Agenda 2030, es necesario no sólo hacer un llamado a su participación, sino abonar al marco regulatorio para hacer que su contribución sea parte de sus responsabilidades de participación en la construcción de un México sostenible y proveer un marco de indicadores que permita dar un seguimiento adecuado a la integración de la sustentabilidad en su modelo de negocios.

Palabras clave: *Indicadores de sustentabilidad, sustentabilidad empresarial, política pública.*

Introducción

A partir de la publicación del informe “Nuestro futuro común” de la World Commission on Environment and Development (WCED), el concepto de Desarrollo Sostenible (DS) comenzó a tomar relevancia por la evidente degradación sobre el ambiente y la preocupación de lograr la equidad generacional. En adelante, las empresas, como usuarias de recursos naturales, productoras de satisfactores para la humanidad, pero también generadoras de impacto negativo, desarrollan estrategias que les permitan lograr un beneficio económico, ambiental y social (Elkington, 1997; Elkington, 1994) y participar en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sustentable (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015).

La Sustentabilidad Corporativa (SC) destaca las actividades que realizan las empresas para un bien común en favor de sus ganancias, las personas y del planeta. Esto implica la transformación de su impacto negativo en positivo para los tres ámbitos del DS, por lo que a sus objetivos económicos se agregan los sociales y ambientales (Purvis *et al.*, 2019; Labuschagne *et al.*, 2005; Elkington 1997) y más recientemente atendiendo los límites planetarios (Röckstrom *et al.*, 2009).

La teoría sugiere que las empresas que deseen abordar la sustentabilidad deben transformar su negocio preocupado por generar ganancias para los accionistas a uno con prioridad social y ambiental (Stubbs y Cocklin, 2008). Aunque el llamado sea para todos los sectores de la población (ONU, 2019) y se reconozca que se requiere del liderazgo y responsabilidad de las empresas, así como de su apoyo de manera práctica y medible, no todas se encuentran en la misma posición para asumir el compromiso de lograr el ds (Sachs, 2012); sin embargo, aquí entra el papel regulador del estado mediante la normatividad y la política pública.

La sustentabilidad en las actividades de las empresas se da en distintos niveles. Van Marrewijk (2003) distingue cinco, como un deber por un fin lucrativo, por reconocer la importancia de apoyar al ds, por la búsqueda de soluciones equilibradas o por la integración. También Dyllik y Muff (2016) mencionan que se debe discernir entre las empresas que aportan al ds y aquellas que no, enmarcan tres enfoques que distinguen la contribución hacia al ds; el primero reconoce desafíos sociales y ambientales, pero sin dejar de lado la maximización de ganancias para los accionistas, lo que refiere un fin lucrativo a expensas del ds; el segundo representa la creación de valor en la integración de los tres aspectos del ds, implica relacionar al planeta, las personas y las ganancias y alinear sus objetivos; el tercero, la transformación del negocio, de ser un ente que daña a uno que aporta y beneficia a la sociedad y al planeta.

Lo anterior muestra que, aunque las empresas consideren que ya abordan los desafíos del ds y se reconozcan como sustentables, existen diferentes niveles de sustentabilidad, mientras que algunas lo abordan sólo como un requisito regulatorio o para obtener mejores ganancias, otras están en un proceso de transformación de su modelo de negocio para crear impacto positivo. Lo ideal sería que todas buscaran esa transformación.

Bajo ese panorama y aunado a las presiones de las partes interesadas sobre las empresas para que rindan cuentas y muestren la transparencia en sus actividades, se admitió la necesidad de informar su contribución al ds. Esto representa un desafío para la gestión empresarial, por los aspectos del ds a considerar, porque para poder administrarlos se deben medir (Norman y MacDonald, 2004; Keeble, 2003).

Es en este punto donde se requiere de indicadores para hacer dicha medición. Los indicadores de sustentabilidad constituyen una herramienta

para contar con información relevante para el seguimiento del desempeño de las organizaciones y para la toma de decisiones, además a clarificar y definir con más precisión objetivos e impactos, se permite evaluar, estimar o demostrar el progreso con respecto a metas establecidas, en este caso los 17 objetivos del DS y sus 169 metas plasmadas en la agenda 2030 (ONU, 2015; Mondragón, 2002).

El pionero en desarrollar un enfoque empresarial y una medida para el DS fue el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). La organización se desarrolló en 1995 por un grupo de empresarios con el fin de impulsar la sustentabilidad en el sector empresarial. En aquellos tiempos, la perspectiva que dominaba el campo era la ambiental e introdujeron la ecoeficiencia como medida de desempeño de sostenibilidad empresarial (WBCSD, 2023; Dyllick y Muff, 2016).

En adelante, otras organizaciones como el *SyP Dow Jones Indices*, *B-lab* o el *Global Reporting Initiative* (GRI) también desarrollaron indicadores. El GRI es el más conocido en el sector empresarial, toda vez que el 78 % de las 250 empresas más grandes (G250) y el 68 % de las 5800 empresas líderes (N100) lo utilizan para informar sobre sostenibilidad. Asimismo, estos estándares se han aplicado desde hace 25 años de manera voluntaria en sectores como el automotriz, minero, servicios financieros, químicos y otros (Searcy, 2012; GRI, 2023a; Pazienza, 2023).

En la Agenda 2030 se afirma que lograr el DS se trata de un compromiso universal que comparten todos los países. Pese a ello cada país posee sus propios desafíos por lo que tienen la facultad de asumir sus propias metas, siempre y cuando deriven de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) (ONU, 2015). Bajo este escenario, resulta relevante analizar los indicadores internacionales de sustentabilidad empresarial, para reconocer aquellos que están establecidos en la política pública del contexto mexicano y que fungan como guía para la medición de sustentabilidad de las empresas que operan en México. En aras de contar con una guía para que las empresas puedan delinear sus estrategias y acciones en pro de ser sustentables.

Para lo anterior, se realizó una revisión y análisis documental en la *Web of Science*, que incluyó las palabras “corporate sustainability”, “measure” e “indicator*”, se recopilaron los artículos JCR más recientes y citados para detectar las últimas e importantes aportaciones al tema. Asimismo, se re-

copilaron documentos de carácter público como el Plan Nacional de Desarrollo (PND).

En adelante se presentan los antecedentes acerca del trabajo realizado en torno a la medición de la sustentabilidad empresarial y la contribución de la política pública en México al DS.

Medición de la sustentabilidad empresarial

Los indicadores proporcionan una alerta temprana, para prevenir daños económicos, sociales y ambientales, por lo que para que las empresas avancen en su camino hacia la sustentabilidad es necesario medir su desempeño. Es decir, dar seguimiento a las actividades que realizan y cuantificar su contribución al DS, no obstante, se carece de un método y sistemas generalmente aceptados, por lo que seleccionar los indicadores para evaluar la sustentabilidad de las empresas se vuelve un proceso subjetivo, sujeto a las condiciones de la empresa y a los tomadores de decisiones (Gaspar *et al.*, 2023).

Desde el año 2003, en la academia se reconocen las dificultades para la medición de la SC. Keeble *et al.* (2003) remarcaron que las compañías para alinearse al DS deberían adaptar sus maneras de medir su desempeño corporativo y reconocen que es un proceso complejo en el que intervienen juicios de valor mezclados con datos duros, por lo que consideran que el uso de indicadores como una herramienta adecuada para medir la sustentabilidad en las corporaciones y proyectos. No obstante, alientan a las empresas a desarrollar sus propios indicadores a partir de la consideración de sus partes interesadas, lo que cae en la subjetividad y anima la creación de una diversidad de indicadores utilizados por las empresas, y por ende dificulta la evaluación global y la comparación entre estas, puesto que cada una mide lo que puede o lo que decide medir.

Algo similar sucede con el Triple Botton Line, considerado como un enfoque contable e integral que define el valor final de una empresa en términos de la medición del desempeño en las tres esferas de la sustentabilidad, anima a las corporaciones a utilizar este enfoque bajo el argumento de que medir el desempeño sustentable es posible y necesario para mejorar y como

un principio de transparencia. Pero debido a la falta de consenso sobre qué indicadores deben ser tomados en cuenta, a la vaguedad de su uso y falta de objetividad, su uso puede parecer conveniente, sin posibilidad de hacer comparaciones y tener un seguimiento a nivel nacional y global (Gaspar *et al.*, 2023; Norman y MacDonald, 2004). Los procesos de normalización y la determinación de indicadores pertinentes para sectores de la actividad empresarial (construcción, automotriz, electrónica, etc.) pueden ser una opción.

Por su parte, Figge y Hahn (2004) también proponen una medida monetaria de las contribuciones corporativas a la sustentabilidad denominada Valor Agregado Sostenible, mide el valor adicional de una empresa al tomar en cuenta la eficiencia y eficacia ecológica y social, bajo el argumento de que las empresas contribuyen a la sostenibilidad cuando el valor creado supera el daño de sus externalidades. Sin embargo, se afirma que los marcos de indicadores para medir la sustentabilidad de ese tiempo no la abordaban de manera efectiva (Labuschagne *et al.*, 2005).

Por otro lado, se han realizado marcos para medir cada una de las dimensiones del DS, dado que se reconoce a la industria como una de las principales fuentes contaminantes y agotadora de recursos, y como principal contribuyente al desarrollo y creación de riqueza. Herva *et al.* (2011) hace una revisión de los indicadores ambientales desarrollados hasta ese momento, considerados adecuados para el nivel corporativo, para evaluar la producción, procesos y productos, de estos destaca huella ecológica, huella de carbono y huella hídrica.

Desde un enfoque que pretende dotar de un marco más integrador, Searcy (2012) presenta una revisión sobre sistemas de medición de desempeño de la sustentabilidad corporativa, refieren que, aunque ha habido contribuciones el trabajo continúa en desarrollo, por lo que abonan al desarrollar 65 preguntas de investigación a fin de proporcionar un punto de partida para investigaciones futuras sobre el tema. Gaspar *et al.* (2023) crearon un modelo de control para evaluar la sustentabilidad basados en el hecho de que existen informes, índices y más recientemente indicadores compuestos, por tanto, su modelo expresa el nivel de sostenibilidad de la empresa examinada en indicadores compuestos o agregados, los cuales permiten integrar datos globales e internos, niveles jerárquicos, las tres dimen-

siones de la sostenibilidad y aspectos que no incluiría un solo índice. Paziienza *et al.* (2023), revisa 30 diferentes metodologías para medir la sustentabilidad y las clasifica en (1) índices compuestos y únicos, y cuadros de mando, (2) nuevos métodos, (3) puntuación de desempeño basado en análisis de contenido y (4) nuevos modelos/herramientas.

Es de observar que Gaspar *et al.* (2023) y Paziienza *et al.* (2023) coinciden en que los indicadores compuestos han ganado popularidad, son multidimensionales, se interpretan con más facilidad y logran capturar más información que un conjunto de indicadores individuales. Aunque las empresas aún no están obligadas a dar cuenta de su nivel de sustentabilidad, lo hacen de manera independiente y voluntaria para presentarse con una buena imagen ante las partes interesadas, informar e influir en su opinión sobre la empresa y para obtener beneficios. Por ello indicadores individuales e informes han sido utilizados ampliamente, pero no se consideran suficientes para medir y evaluar la sustentabilidad real de una empresa.

Al respecto encontramos dos opiniones opuestas sobre la medición de la SC; hay quienes argumentan que debe estar hecha a la medida, dadas las necesidades de cada empresa, su estructura organizacional única, su contexto y los cambios que experimenta (Searcy, 2012; Keeble *et al.*, 2003;) y por otro lado los que afirman que para poder avanzar se requiere de estandarización y de una medida cohesiva a nivel general, que sea aplicable a todas las empresas, industrias y geografías (Paziienza *et al.*, 2023; Gaspar *et al.*, 2023).

Ambas proveen aspectos de importancia por destacar; las empresas tienen actividades particulares. Por ejemplo, las dedicadas a los servicios difícilmente podrían reportar su huella de carbono porque sus actividades no se remiten a eso; mientras que una manufacturera requiere combustibles para poner en marcha sus operaciones, por lo tanto, no podrían reportar los mismos indicadores. Sin embargo, lo anterior también dificulta el medir las contribuciones a nivel global, que son necesarias para ver qué tan cerca o lejos se está de lograr los objetivos.

Aunque la labor por desarrollar marcos de indicadores se incrementó, con la mayor producción del tema en los años 2022 y 2021 (ver gráfica 1), los documentos recientes sugieren que la SC aún no se mide. La labor parece ir en direcciones opuestas. Anterior a la publicación de la agenda 2030

se planteó un trabajo individual y ad hoc a cada empresa y posterior a esa misma, se apoya una generalización. La labor individual tiene su interés en la toma de decisiones, ya que de tal efecto se esperan beneficios para la empresa, mientras que la generalización busca poder comparar y abonar al desarrollo global.

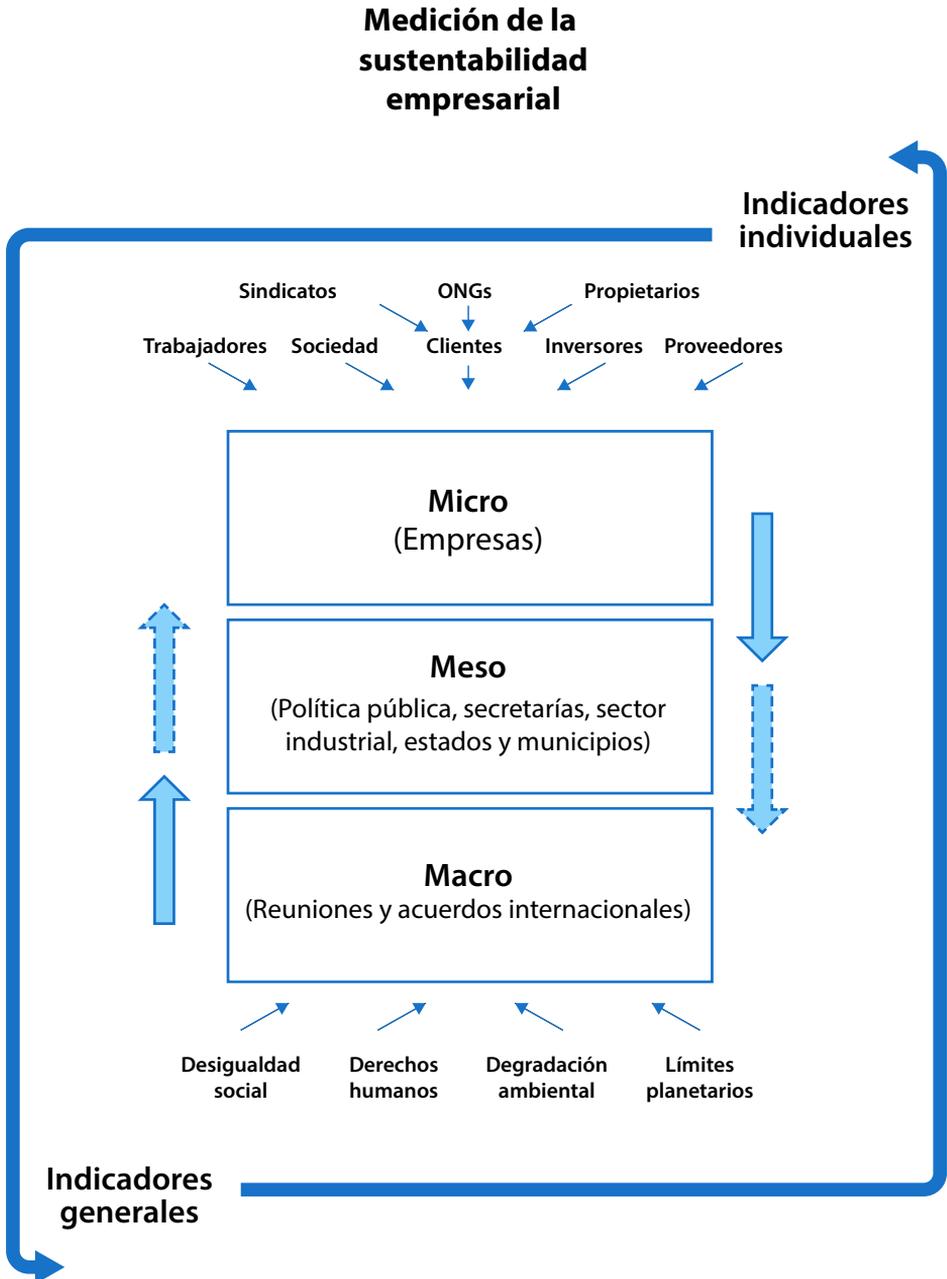
Gráfica 1. Artículos publicados sobre "corporate sustainability" AND "measure" AND "indicator"



Fuente: Elaboración propia.

El empuje para que las empresas crearan sus propios marcos, fue porque en un principio los esfuerzos estuvieron centrados en medir la sustentabilidad a nivel macro y meso, por ejemplo, países, regiones industrias, pero no a nivel micro; la empresa. Lo cual, exacerbó el interés de las empresas por desarrollar sus propios indicadores bajo las presiones de sus partes interesadas y la falta de orientación para la implementación (Antolín *et al.* 2016; Searcy, 2012). Tanto el carácter global como el individual han impulsado los esfuerzos para medir la sustentabilidad, cada uno desde sus propios intereses, lo que ha dificultado la cohesión entre ambos. Ahora en más, el reto está en encontrar la coherencia entre estos dos, para poder medir lo mismo a nivel micro, meso y macro (ver figura 1).

Figura 1. Estado Actual de la Medición de la Sustentabilidad Corporativa



Fuente: Elaboración propia.

Se reconoce que hay diferencias significativas entre empresas, industrias y países, pero es necesario cerrar las brechas y trabajar conjuntamente para cubrir tanto las necesidades particulares de las empresas como las necesidades a nivel global para tener cuantificado el DS. Por ejemplo, indicadores como el GRI se engloban por industrias para facilitar las comparaciones entre empresas y el marco de indicadores de los ODS son una referencia global, aunque deja abierta la selección para ser aplicada de acuerdo con el contexto de cada país (GRI, 2023b; ONU, 2021). Entonces, falta eliminar la subjetividad en la elección de los indicadores, el marco legal de cada país debe manifestar explícitamente qué indicadores debe reportar cada empresa de acuerdo con sus actividades e industria a la que pertenecen, a fin de evitar que se convierta en una selección “conveniente”.

Organizaciones y agencias de calificación

Pese a la labor de la academia por abonar a construir un marco de indicadores que las empresas puedan seguir, aún falta más trabajo. En el sector empresarial son los indicadores provenientes de organizaciones sin fines de lucro, multilaterales o agencias evaluadoras o certificadoras, los que parecen tener mayor aceptación. Paziienza *et al.* (2023), Antolín *et al.* (2016), Searcy (2012), Labuschagne *et al.* (2005) mencionan y analizan algunas como: el Índice de Sustentabilidad Dow Jones (DJSI), ASSET4, Calvert, FTSE4Good Index Series, Sustainalytics, ECPI ESG Indices, Calificación Corporativa ISS ESG, el Pacto de las Naciones Unidas, métricas de Sostenibilidad de la Institución de Ingenieros Químicos, marco de indicadores de Sostenibilidad de Wuppertal, Kinder, Lydenberg y Domini: KLD, ISO 26000, B- Corp y el GRI.

Algunas de las organizaciones y agencias calificadoras fundaron sus operaciones en los Estados Unidos y, poco a poco, se han extendido por todo el mundo. Por ejemplo, el GRI se fundó en 1997 y hoy en día tiene influencia en Latinoamérica, Europa, África y Asia (GRI, 2023b). B-lab fundada en 2006 cuenta con más de 5.000 empresas en 92 países (B-lab, 2023). Sustainalytics inició en Amsterdam y cubre más de 172 países (Sustainalytics, 2023). México aún no tiene alguna organización que provea a las empresas de algún tipo de indicador, sólo algunas empresas optan por medirse en el

DJSI, aunque sólo aplica para aquellas que cotizan en la Bolsa Mexicana de Valores, o bien utilizan los estándares del GRI, dado que proporciona una medición global de la organización a través de sus reportes de sustentabilidad (GRI, 2023b; SyP DJI, 2023).

El GRI es una organización sin fines de lucro que pretende informar al público en general sobre una variedad de impactos económicos, sociales y ambientales, tanto positivos como negativos. Se basa en tres series de estándares: los universales, sectoriales y temáticos. Para la dimensión económica apunta a aspectos como desempeño económico, presencia en el mercado, anticorrupción, prácticas de abastecimiento, y otras. La dimensión social considera aspectos como la no discriminación derechos de los pueblos indígenas, comunidades locales, trabajo infantil, por mencionar algunos; la dimensión ambiental toma en cuenta residuos, emisiones, materiales, biodiversidad, evaluación ambiental de los proveedores, etc. El éxito del GRI se atribuye a que involucra a diferentes partes interesadas en el proceso. En México el 75% de las empresas que realizan sus reportes sobre responsabilidad corporativa se basan en estos criterios (GRI, 2023a; GRI, 2023b; KPMG, 2021; Antolín *et al.*, 2016).

El DJSI fue creado en su primera versión en 1999 por la agencia de calificación estadounidense SAM y Standard and Poor's, mejor conocida como SyP, para evaluar el desempeño en términos de sustentabilidad de las empresas más grandes del planeta. La familia de este índice está conformada por un índice global y varios regionales. Su formación sigue dos aspectos, el tamaño de la empresa y su rating social, ambiental y de gobernanza, una vez seleccionadas se siguen una serie de criterios y fuentes de información para evaluar la sostenibilidad real de la empresa (SyP DJI, 2023; BBVA, 2022).

A pesar del amplio número de marcos que buscan apoyar a las empresas en medir la sustentabilidad, las partes interesadas (inversores, académicos, organizaciones y agencias de calificación) los generan de acuerdo con sus intereses, lo que crea diferencias sustanciales entre ellos. Por ejemplo, las dimensiones que cubren (Herva *et al.*, 2011), los niveles de sostenibilidad en los que se aplican (Batterham, 2006; Labuschagne *et al.*, 2005), las subdimensiones o criterios utilizados y su operacionalización. Así mismo, no integran las tres dimensiones de manera holística. Se presta más o menos atención a los aspectos ambientales, sociales y económicos (Antolín *et al.*,

2016). Lo anterior, al igual que en el ámbito académico, ocasiona que no exista convergencia entre lo que mide un índice y otro, por lo que la posibilidad de hacer comparaciones queda muy lejana.

Independientemente de su finalidad, los marcos de indicadores deberían evolucionar hacia una manera más estandarizada, ya que todos apuntan a medir la sustentabilidad corporativa y el fin, pese a los individuales, es lograr el ds. El desafío ahora es cómo coordinar los esfuerzos (Antolín *et al.*, 2016). Por otro lado, el reporte de la sustentabilidad sigue siendo una acción voluntaria y no regulatoria, por lo que en adelante se explora cómo la política pública impulsa o no la sustentabilidad corporativa en México y cómo se traspaasa desde el nivel meso al nivel micro, o bien las deficiencias que existen en ello.

Política pública para la contribución al Desarrollo Sostenible

La agenda 2030 ofrece 17 objetivos con 169 metas en las que cada país tiene la libertad de seleccionar las propias de acuerdo con las condiciones y desafíos que enfrentan (ONU, 2015). De forma que las empresas que operan en cada país no pueden ignorar su declaración en torno a los ods. Al respecto, se debe considerar una perspectiva de sistemas en la que se reconozcan los principios de jerarquía, equifinalidad, interrelación e interdependencia. Es decir, las empresas pertenecen a un país que es parte de de un conjunto de países de la ONU, éstas son un subsistema perteneciente a un sistema dentro del macrosistema. Lo cual, se asocia con los niveles jerárquicos mencionados previamente, donde el objetivo común es el logro del ds. Es decir, lo que sucede en uno afecta el desempeño del otro y sólo de ese modo se logra un desempeño mayor (sinergia) (Murillo, 2009; Cathalifaud y Osorio, 1998).

Lo anterior sugiere una labor para los gobiernos como generadores de políticas públicas bajo las que se oriente la actuación de las empresas para que exista una alineación y no se opere de manera dispersa, aislada, voluntaria y conveniente. En este caso, los países actúan bajo la agenda 2030 y las empresas bajo el marco que establece el país en el que operan (esto puede ser un problema para las empresas trasnacionales).

En el año 2015, México, como parte de los países de la ONU, asumió el compromiso del DS. El principal desafío después de su emisión fue el desarrollo de herramientas que permitieran aterrizar de manera práctica la agenda 2030, ya que ésta no las proporciona. Principalmente por dos razones: porque el DS está en función de las circunstancias y prioridades nacionales y las herramientas requerirían de una contextualización para funcionar adecuadamente (PNUD México, 2019).

Al respecto y como marco contextual se tiene que México es parte de las 15 economías más grandes del mundo y la segunda de América Latina, con una población de casi 130 millones. Aunque el país tiene instituciones macroeconómicas sólidas, está abierto al comercio y tiene una base manufacturera diversificada conectada a cadenas de valor globales. En las últimas tres décadas su desempeño en términos de crecimiento, inclusión y reducción de la pobreza ha estado por debajo de lo esperado, en comparación con países similares. La economía tuvo un crecimiento estimado en poco más del 2% anual entre 1980 y 2022, lo que limita el progreso en la convergencia en relación con las economías de altos ingresos. La economía mexicana creció 3.1% en 2022, tras un repunte de 4.7 en 2021, después de una caída del 8% en 2020 debido a la pandemia de COVID-19. Para acelerar el crecimiento económico sostenible y la reducción de la pobreza en el mediano plazo, México debe abordar limitaciones estructurales, como el acceso limitado a las finanzas, la inseguridad, la informalidad, las cargas regulatorias y los cuellos de botella en infraestructura. Abordar estos desafíos es fundamental para aprovechar al máximo la oportunidad que representa el *nearshoring* en el entorno internacional actual (Banco Mundial, 2023).

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en México, apoya con orientaciones concretas para asegurar que la Agenda 2030 forme parte de la política pública y sea el marco de referencia para el DS. Es decir, proporciona una guía que busca incorporar el enfoque de la Agenda 2030 en las fases de diagnóstico, diseño, implementación, seguimiento y evaluación de los planes y programas públicos (PNUD México, 2019).

Lo anterior se rige bajo el Sistema Nacional de Planeación Democrática en México, que se compone por los siguientes niveles de planeación nacional: el Plan Nacional de Desarrollo (PND), los programas derivados del PND

y los programas presupuestarios en los que se materializa la asignación de recursos. El marco normativo que regula este sistema se rige principalmente por la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, por la Ley de Planeación y por la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria. Este sistema establece que es responsabilidad del Ejecutivo Federal conducir la planeación nacional, de acuerdo con el plan de gobierno propuesto y enmarcado en la Ley de Planeación (PNUD México, 2019).

El PND va acorde a la temporalidad de cada gobierno, por lo que el ejecutivo federal actual elaboró el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 a través de un procedimiento de participación y consulta popular. El documento se estructura en tres ejes generales que refieren los problemas públicos del país: (1) justicia y estado de derecho, (2) bienestar, (3) desarrollo económico, y tres ejes transversales que son las características que agudizan los problemas: (1) igualdad de género, (2) no discriminación e inclusión y (3) territorio y desarrollo sostenible (Segob, 2019a).

El PND plantea un objetivo para cada eje general, a su vez, éste se conforma por un número de objetivos que corresponden a los resultados que se esperan al implementar las políticas públicas propuestas y que serán medidas bajo una serie de indicadores establecidos. También se plantean las estrategias a seguir para cada objetivo, que conciernen los medios necesarios para alcanzar la solución a cada una de las causas que generan el problema público.

A través del PND se remarca que el DS es un factor indispensable para el bienestar, por lo que cada uno de los objetivos nacionales se vinculan y aportan al cumplimiento de los ODS. En el PND se muestra que el ODS 10 “reducción de las desigualdades” es el de mayor prioridad con 27 objetivos nacionales que aportan al cumplimiento global, lo cual concuerda con los ejes del PND. Le siguen los ODS 16 y 17: paz, justicia e instituciones sólidas y alianzas para lograr los objetivos. Los ODS con menor prioridad son el 6 y 7, referentes al agua limpia y saneamiento y energía asequible y no contaminante (Segob, 2019a; ONU, 2015).

La sustentabilidad se da en tres dimensiones, económica, social y ambiental, lo que hace pertinente medirlas (Gaspar *et al.* 2023). El modelo del pastel de bodas vincula y jerarquiza las tres dimensiones con los ODS de la agenda 2030, sitúa los objetivos ligados al ambiente en la base, los sociales en el centro y los económicos en la punta (Rockström y Sukhdev, 2016). De

acuerdo con los objetivos planteados por el PND y el modelo mencionado se analizó la postura de México frente a la prioridad que se le da a cada una de las dimensiones.

Cada objetivo del PND conduce al cumplimiento de varios ODS, por ejemplo, el objetivo 3.5 Establecer una política energética soberana, sostenible, baja en emisiones y eficiente para garantizar la accesibilidad, calidad y seguridad energética, abona a los ODS 1, 4, 7, 8, 10, 12, 13, 16 y 17 (Segob, 2019a). En este sentido, se encontró que el PND tiene más prioridad por la dimensión social y económica, hay con un mayor número de objetivos del PND que aportan a esas dimensiones, 92 y 66 respectivamente, mientras que la ambiental se queda atrás.

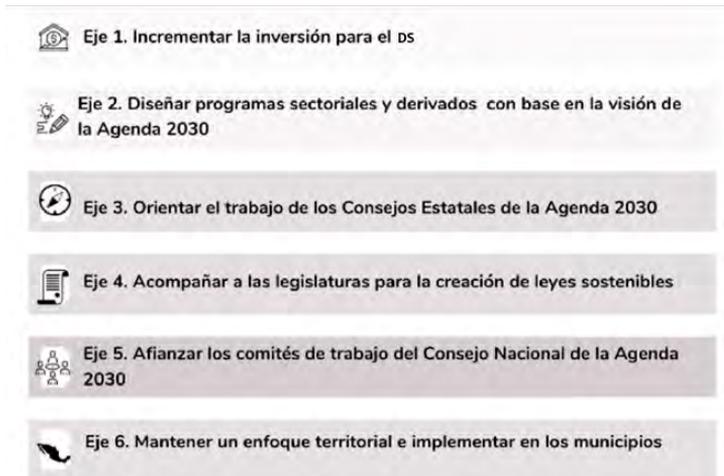
Respecto de la evaluación y monitoreo de los objetivos del PND, la Ley de Planeación (2023) en su Artículo 9 estipula que el Ejecutivo Federal establecerá un Sistema de Evaluación del Desempeño para medir los avances de las dependencias de la Administración Pública Federal, enfocado en el logro de los objetivos y metas del plan y de los programas sectoriales que se hayan comprometido a alcanzar anualmente. De modo que para cada objetivo planteado en cada uno de los ejes se enlista una serie de indicadores con los que se pretende medir y monitorear el cumplimiento, así también se establece una línea base y una meta a alcanzar. Sin embargo, no se establece de manera específica un conjunto de indicadores para el sector empresarial.

En mayo de 2019 se firmó un acuerdo de colaboración y compromiso entre la Oficina de la Presidencia de la República, Pacto Mundial México y el Consejo Coordinador Empresarial con el objetivo de impulsar los ODS desde la iniciativa privada. De este acuerdo, México lanzó su Estrategia Nacional para la implementación de la Agenda 2030 (ENA 2030), que muestra la visión de la actual administración y fija el marco de acción para avanzar en marcos públicos para guiar la acción hacia un desarrollo sostenible de los diferentes grupos de interés (Segob, 2019b)

En abril del 2017 se creó el Consejo Nacional de la Agenda 2030 para el ODS, éste es la instancia multiactor encargada de analizar la situación de México, identificar y proponer soluciones para el cumplimiento de los ODS. Se encuentra conformada por 19 secretarías de estado, siete instituciones no sectorizadas y dos organismos autónomos. Además, se incluyen represen-

tantes de organizaciones internacionales del sector privado, sociedad civil y la academia. Su plan de trabajo incluye seis ejes principales (Segob, 2019b) (ver figura 2).

Figura 2. Plan de trabajo del Consejo Nacional de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.



Fuente: Adaptado de Segob (2019b).

Se asegura que el DS tiene su mayor ocurrencia a nivel local, de modo que para obtener resultados tangibles las instancias de gobierno más cercanas a la población deben promover el actuar hacia los ODS. En este sentido, también se creó la comisión para el cumplimiento de la Agenda 2030, por el cual los gobiernos subnacionales suman sus esfuerzos. Cada entidad federativa puede proponer y coordinar acciones en sus planes estatales de desarrollo y programas derivados, implementar políticas públicas y desarrollar mecanismos de monitoreo y seguimiento. Cada entidad debe crear un Órgano de Seguimiento e Instrumentación (OSI) para impulsar y dar seguimiento a la Agenda 2030. Aunque se presume que las 32 entidades federativas y algunos municipios ya cuentan con sus OSI, se declara que el funcionamiento tiene carencias como planes de trabajo claros, la participación multiactor y multisector y el uso de la información (Segob, 2019b).

En torno al monitoreo y seguimiento de los 232 indicadores del marco global de la Agenda 2030, son reportados por las Unidades del Estado y el

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). En el año 2015 se creó el Comité Técnico Especializado de los ODS en México (CTEODS), organismo encargado de coordinar los trabajos de carácter conceptual, metodológico, técnico y operativo, para generar y actualizar la información para diseñar y evaluar las políticas públicas dirigidas al cumplimiento de los ODS (Segob, 2019b).

El Gobierno de México se apoya del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (SNIEG), coordinado por el INEGI, el cual vía el CTEODS y el Consejo Nacional de la Agenda 2030 tiene la facultad de proponerle al CTEODS metas e indicadores nacionales. La información sobre el avance de los ODS se encuentra a disposición de los usuarios en la plataforma oficial de seguimiento y monitoreo, el Sistema de Información de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (SIODS), herramienta desarrollada conjuntamente por la Coordinación de Estrategia Digital Nacional de la Presidencia de la República y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (SIODS, 2023).

No obstante, se asegura que los gobiernos generalmente brindan relativamente poca orientación sobre la implementación de la sustentabilidad a nivel corporativo y que la mayoría de los esfuerzos son iniciativas voluntarias que representan formas de autorregulación a nivel de empresa, industria o negocio (Searcy, 2012). En México, con la ENA 2030, se pretende conducir el futuro del país hacia un modelo de desarrollo incluyente, justo y equilibrado (Segob, 2019b). En este esfuerzo sólo se invita a personas, organizaciones sociales, emprendedores, empresas, instituciones académicas y dependencias de gobierno de todos los niveles a seguirla como una hoja de ruta para el logro del DS, pero no es de carácter obligatorio, ni brinda un marco de indicadores que estas pudieran seguir. Si se parte del supuesto que el PND deriva de una visión hacia el DS, entonces, como un primer acercamiento, se pueden identificar aquellos indicadores en los que las empresas pueden contribuir al DS (ver tabla 1).

Conclusiones

En las empresas, la incorporación del DS se inició sólo como una acción correctiva que daba respuesta a problemas ambientales emergentes, pero se dieron cuenta de que, si se previniera la contaminación y se adoptaran políticas de producción más limpia, se lograrían mejoras ambientales y aumento de sus beneficios. Por lo que optaron por una actitud más proactiva para evitar o reducir los recursos humanos e impactos ecológicos en la salud. Es decir, las empresas dan cuenta de su nivel de sustentabilidad, de manera independiente y voluntaria para presentarse con una buena imagen ante las partes interesadas, informar e influir en su opinión sobre la empresa, para cumplir con la normatividad y para obtener beneficios, por ejemplo, a nivel de apoyo financiero.

De ahí el interés por medir la sustentabilidad empresarial en diversos caminos, que no necesariamente se juntan. Por un lado, las empresas han desarrollado sus propios indicadores, pero carecen de una generalización para ser aplicados en otras con características similares, basan su uso en juicios de valor, condiciones de la empresa o por la opinión del tomador de decisiones, por lo que hay subjetividad y una amplia gama que dificulta la evaluación y comparación en niveles meso y macro. También la academia, organizaciones sin fines de lucro y agencias de calificación realizan esfuerzos para medir la sustentabilidad en las empresas, pero de igual manera no hay consenso ni generalización entre lo que se debe medir.

Desde el nivel macro existe el marco de indicadores mundiales para los ODS, a partir de ello cada país conforme a sus necesidades y prioridades nacionales decida cuales utilizar. Para el caso de México, se encuentra establecido en el PND y a partir de las diferentes instituciones se pretende hacer tangible del DS; sin embargo, para las empresas no hay claridad sobre que indicadores deben reportarse, además de que aún no es de carácter obligatorio.

También, se ha desarrollado toda una estrategia para guiar a los diferentes actores en la adopción de la sustentabilidad, que incluye al sector privado. Sin embargo, parece no ser suficiente, puesto que no se ofrece un marco de indicadores clave que las empresas, de acuerdo con sus activida-

des, puedan cumplir. Por lo que, bajo el interés de obtener beneficios, crean sus propios marcos de indicadores, lo que crea una labor en torno al tema que va en direcciones opuestas que no pretenden unirse.

A pesar de los esfuerzos realizados en México, aún hay trabajo por hacer y, dado que el PND tiene una temporalidad acorde al periodo sexenal de cada gobierno, es posible que las prioridades nacionales cambien de un periodo a otro, por lo que las labores corren el riesgo de no ser concretadas. Actualmente, México está frente a una oportunidad de crecimiento: el “*near-shoring*” (Banco Mundial, 2023). Sin embargo, las empresas que buscan su relocalización demandan, por ejemplo energías limpias (Forbes, 2023). La tendencia del plan actual está cargada hacia la parte social, dejando de lado lo ambiental, sin poner atención requerida al binomio pobreza-deterioro ambiental. Por lo que, para aprovechar las oportunidades que se presentan, se deben reevaluar las prioridades nacionales y el desempeño real en términos de sustentabilidad. Además, de considerar que el país está inmerso en el macrosistema, por lo que las necesidades nacionales también se deben interrelacionar con las de otros países para obtener un beneficio mayor.

Si en México las empresas se reconocen como un importante actor que tiene el potencial de acelerar la implementación de la Agenda 2030, porque contribuye al crecimiento económico, el bienestar social y el cuidado del ambiente, es necesario no sólo hacer un llamado a su participación, sino abonar al marco regulatorio para generar que su contribución sea parte de sus responsabilidades de participación en la construcción de un México sostenible y, sobre todo, proveer un marco de indicadores que permita dar un seguimiento adecuado a la integración de la sustentabilidad en su modelo de negocios.

Tabla 1. *Indicadores del PND en los que el sector privado puede participar*

<i>Eje General</i>	<i>Indicador</i>	<i>Descripción</i>
Justicia y Estado de Derecho	1.1.1: Subíndice de gobernanza del índice de Transformación Bertelamann (BTI)	Evalúa la gobernanza, el desempeño de la administración pública y el liderazgo en el país.
	1.3.1 Medidas y acciones de protección y defensa de los derechos humanos	Mide el porcentaje de medidas y acciones de protección y defensa de los derechos humanos cumplidas por la autoridad señalada como responsable.
	1.3.2: Seguimiento al cumplimiento de compromisos internacionales en materia de derechos humanos	Mide las acciones de seguimiento al cumplimiento de compromisos internacionales en materia de derechos humanos.
	1.6.1: Proyectos de colaboración y de promoción en beneficio del desarrollo nacional impulsados mediante acuerdos políticos.	Mide el número de nuevos proyectos promovidos con contrapartes internacionales.
	1.6.2 Iniciativas mexicanas del alto impacto	Mide la cantidad de iniciativas de alto impacto promovidas por el Estado mexicano en el ámbito multilateral que se encuentra en línea con sus intereses.
	1.8.1: Tasa de víctimas de actos de corrupción en al menos uno de los trámites realizados.	Mide el número de personas que padecieron actos de corrupción en la realización de al menos un trámite.
	1.9.2: Meta Global E del Marco de Sendai para la evaluación de la estrategia de reducción del riesgo de desastres.	Mide el puntaje promedio nacional para la adopción e implementación de estrategias nacionales de reducción del riesgo de desastres en línea con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030.
Bienestar	2.5.1: Costo total respecto al PIB del agotamiento de los recursos naturales y la degradación ambiental, sin hidrocarburos.	Mide el porcentaje con respecto al PIB de los costos por remediar, restituir o prevenir el agotamiento y degradación de los recursos naturales y el medio ambiente.
	2.5.2: Territorio nacional cubierto por bosques y selvas.	Mide el resultado de todas las acciones de conservación, manejo y recuperación de la cubierta vegetal forestal y permite observar si disminuye la deforestación (pérdida de cubierta forestal).
	2.6.1: Población que tiene acceso diario al agua, así como al saneamiento básico.	Mide a la población total que tiene acceso al agua entubada diariamente, así como conexión a la red de drenaje o a una fosa séptica.
	2.6.2: Estrés hídrico	Mide la proporción de agua empleada en usos consuntivos respecto al agua renovable.
	2.7.1: Porcentaje de viviendas fuera de rezago habitacional.	Mide el porcentaje de viviendas construidas con materiales adecuados en piso, techo y paredes, que cuentan con excusado y que el promedio de personas por cuarto es menor a 2.5.
	2.7.2: Porcentaje de personas sin acceso a servicios básicos de la vivienda	Mide el porcentaje de personas que no cuenta con agua entubada dentro de la vivienda o fuera de la vivienda, pero dentro del terreno, drenaje conectado a la red pública o a una fosa séptica, electricidad obtenida del servicio público, de un panel solar o de otra fuente, planta particular y que el combustible que utilizan para cocinar es leña o carbón y la cocina no cuenta con chimenea.
	2.8.1: Eficiencia en el uso del suelo	Mide la relación entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población urbana.
	2.10.1: Población de 18 años y más activa físicamente en el agregado urbano de 32 ciudades de 100 mil y más habitantes.	Mide el porcentaje de la población de 18 años y más que declara realizar actividad física en su tiempo libre.
	2.11.2: Tasa de Informalidad Laboral (TIL-1).	Mide el seguimiento de la formalización del empleo, para evaluar el mejoramiento de la calidad de los trabajos.
	2.11.1: Porcentaje de cobertura del salario mínimo real respecto a la línea de bienestar urbana familiar.	Mide el porcentaje que representa el salario mínimo real con respecto al valor de la línea de bienestar urbana familiar.

Desarrollo económico	3.1.3: Índice de Desarrollo del Sistema Financiero.	Mide el crecimiento en la asignación de recursos en las actividades con mayor beneficio a la sociedad, considerando los canales con los que cuenta el sector financiero. Se compone de la ponderación del ahorro financiero interno, financiamiento interno al sector privado y el valor de capitalización del mercado de valores como porcentaje del PIB, en un índice base 100.
	3.2.2: Mediana del ingreso mensual real (pesos de 2013) de los ocupados de 15 años y más.	Es el corte en el cual se encuentra la mediana del ingreso mensual.
	3.3.1: Resultado de innovación en el estudio de la Organización Mundial de Propiedad Intelectual	El indicador muestra el resultado de innovación de los países en temas como sofisticación de mercado, conocimiento, tecnología, creatividad, infraestructura, capital humano e instituciones.
	3.3.2: Contenido nacional de las exportaciones de la industria manufacturera, maquiladora y de servicios de exportación	Mide la proporción de insumos nacionales utilizados en la industria manufacturera, maquiladora y de servicios de exportación, sobre los insumos totales.
	3.4.2: Formación bruta de capital fijo como porcentaje del PIB.	Se refiere al valor de las adquisiciones de activos fijos nuevos o existentes, menos las cesiones de activos fijos realizados por el sector empresarial, los gobiernos y los hogares como porcentaje del PIB. Medirá si el ambiente de estabilidad macroeconómica efectivamente ha favorecido la inversión.
	3.5.1: Participación de la generación eléctrica con energías limpias.	Es la cantidad de energía eléctrica producida con fuentes limpias como proporción de la generación eléctrica total.
	3.5.2 Índice de independencia energética.	Es la producción nacional de energía primaria como proporción del consumo nacional de energía.
	3.6.1: Empleo formal registrado en el IMSS del Sector Comunicaciones y Transportes.	Mide el número de empleos registrados formalmente ante el IMSS del Sector Comunicaciones y Transportes.
	3.8.1: Porcentaje de la producción de granos básicos y leche respecto al consumo nacional.	Participación de la producción nacional de maíz blanco y amarillo, frijol, arroz, trigo y leche, en el consumo nacional aparente.
	3.8.2 Índice de producción de alimentos.	Mide la disponibilidad de productos básicos y estratégicos para contribuir a la seguridad alimentaria (maíz, caña de azúcar, frijol, trigo, arroz, sorgo, café, huevo, leche, carne de bovinos y porcinos, aves, y pescado).
	3.9.1: Índice de ingreso de divisas internacionales por concepto de turismo.	Mide el comportamiento de la derrama económica por turismo internacional expresada como el gasto ejercido por los turistas internacionales en México.
	3.9.2: Índice de PIB turístico per cápita.	Mide la disponibilidad de la riqueza generada en el sector turístico por habitante a través de la relación del PIB turístico y la población en México.
	3.10.1: Intensidad de carbono por la quema de combustibles fósiles.	Mide las emisiones de dióxido de carbono (CO ₂) por las actividades de quema de combustibles fósiles por dólar por paridad de poder de compra (PIB PPP).

Fuente: Segob (2019a).

Bibliografía

- Antolín-López, R., Delgado-Ceballos, J., y Montiel, I. (2016). Deconstructing corporate sustainability: a comparison of different stakeholder metrics. *Journal of Cleaner Production*, 136, 5-17. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.111>
- Banco Mundial. (2023). *El Banco Mundial en México. México: panorama general*. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/country/mexico/overview#1>
- Batterham, R. J. (2006). Sustainability—The next chapter. *Chemical Engineering Science*, 61(13), 4188-4193. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2005.10.016>
- Banco Bilbao Vizcaya Argentaria. (2022). ¿Sabes qué es el índice Dow Jones Sustainability Index? Disponible en: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/sabes-que-es-el-indice-dow-jones-sustainability-index/>
- B-lab. (2023). *Página Oficial*. <https://www.bcorporation.net/en-us/>
- Cathalifaud, M. A., y Osorio, F. (1998). Introducción a los conceptos básicos de la teoría general de sistemas. *Cinta de moebio*, (3). Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/101/10100306.pdf>
- Dyllick, T., y Muff, K. (2016). Clarifying the meaning of sustainable business: Introducing a typology from business-as-usual to true business sustainability. *Organization and Environment*, 29(2), 156-174. <https://doi.org/10.1177/1086026615575176>
- Elkington, J. (1997). The triple bottom line. *Environmental management: Readings and cases*, 2, 49-66. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=yid=hRJGr-sGnMXcCyoI=fndypg=PA49ydq=The+triple+bottom+line.+Environmental+management:+Readings+and+cases,+2,+49-66.+yots=0ftBBMNraJysig=SYMOInL-ZopoDvTuqV1Cdbf6fbmE#v=onepage&qyf=false>
- Elkington, J. (1994). Towards the sustainable corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development. *California management review*, 36(2), 90-100. <https://doi.org/10.2307/41165746>
- Figge, F., y Hahn, T. (2004). Sustainable value added—measuring corporate contributions to sustainability beyond eco-efficiency. *Ecological economics*, 48(2), 173-187. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2003.08.005>
- Forbes. (2023, 25 de agosto). *Transformando México: democracia, nearshoring y energías renovables en el camino hacia el futuro sostenible*. <https://www.forbes.com.mx/transformando-mexico-democracia-nearshoring-y-energias-renovables-en-el-camino-hacia-el-futuro-sostenible/>
- Gáspár, S., Musinszki, Z., Hágen, I. Z., Barta, Á., Bárczi, J., y Thalmeiner, G. (2023). Developing a Controlling Model for Analyzing the Subjectivity of Enterprise Sustainability and Expert Group Judgments Using Fuzzy Triangular Membership Functions. *Sustainability*, 15(10), 7981. <https://doi.org/10.3390/su15107981>
- Global Reporting Initiative. (2023a). *Informe Anual de Sostenibilidad 2022 de GRI: Hacia un sistema de reporte integral global*. <https://www.globalreporting.org/about-gri/mission-history/gri-s-own-reports/>
- Global Reporting Initiative. (2023b). *Página Oficial*. <https://www.globalreporting.org/>

- Herva, M., Franco, A., Carrasco, E. F., y Roca, E. (2011). Review of corporate environmental indicators. *Journal of Cleaner Production*, 19(15), 1687-1699. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.05.019>
- Keeble, J. J., Topiol, S., y Berkeley, S. (2003). Using indicators to measure sustainability performance at a corporate and project level. *Journal of business ethics*, 44, 149-158. <https://doi.org/10.1023/A:1023343614973>
- KPMG. (2021). *El horizonte sostenible en México: Encuesta de KPMG sobre informes de responsabilidad corporativa*. <https://kpmg.com/mx/es/home/sala-de-prensa/press-releases/2021/01/el-horizonte-sostenible-en-mexico-encuesta-de-kpmg-sobre-informes-de-responsabilidad-corporativa.html>
- Labuschagne, C., Brent, A. C., y Van Erck, R. P. (2005). Assessing the sustainability performances of industries. *Journal of cleaner production*, 13(4), 373-385. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2003.10.007>
- Ley de Planeación. (2023). *Diario Oficial de la Federación (DOF)*. Disponible en: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPlan.pdf>
- Mondragón, A.R. (2002). ¿Qué son los indicadores? Revista de información y análisis, 19. Disponible en: https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w23935w/PSM_U4_R2.pdf
- Murillo, R. S. (2009). Características de los sistemas en las organizaciones. *Perspectivas*, (23), 149-163. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4259/425942159009.pdf>
- Norman, W., y MacDonald, C. (2004). Getting to the bottom of “triple bottom line”. *Business ethics quarterly*, 14(2), 243-262. <https://doi.org/10.5840/beq200414211>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. United Nations A/RES/70/1. Disponible en: https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf
- Organización de las Naciones Unidas. (2019). *La década de acción*. Naciones Unidas. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/decade-of-action/>
- Organización de las Naciones Unidas. (2021). *Marco de indicadores mundiales para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y metas de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Disponible en: https://unstats.un.org/sdgs/indicators/Global%20Indicator%20Framework%20after%202020%20review_Spa.pdf
- Pazienza, M., de Jong, M., y Schoenmaker, D. (2023). Why Corporate Sustainability Is Not Yet Measured. *Sustainability*, 15(7), 6275. <https://doi.org/10.3390/su15076275>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo México. (2019). *El enfoque de la Agenda 2030 en planes y programas públicos en México. Una propuesta metodológica centrada en la Gestión por Resultados para el Desarrollo*. Disponible en: <https://www.undp.org/es/mexico/publications/el-enfoque-de-la-agenda-2030-en-planes-y-programas-p%C3%BAblicos-en-m%C3%A9xico>
- Purvis, B., Mao, Y., y Robinson, D. (2019). Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. *Sustainability Science*, 14(3), 681-695. <https://dx.doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5>
- Rockström, J., y Sukhdev, P. (2016). A New Way of Viewing the Sustainable Development Goals. How Food Connects All the SDGs. Stockholm Resilience Centre, *Stockholm University: Stockholm, Sweden*. Disponible en: <https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2016-06-14-the-sdgs-wedding-cake.html>

- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., De Wit, C. A., Hughes, T., Van Der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472–475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Sachs, J. D. (2012). From millennium development goals to sustainable development goals. *The Lancet*, 379(9832), 2206–2211. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60685-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60685-0)
- Searcy, C. (2012). Corporate Sustainability Performance Measurement Systems: A Review and Research Agenda. *Journal of Business Ethics*, 107(3), 239–253. <https://doi.org/10.1007/s10551-011-1038-z>
- Secretaría de Gobernación. (2019a). Comunicación con la que remite el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. *Gaceta Parlamentaria No. 5266-XVIII*. Disponible en: <http://gaceta.diputados.gob.mx/PDF/64/2019/abr/20190430-XVIII-1.pdf>
- Secretaría de Gobernación. (2019b). *Estrategia Nacional para la Implementación de la Agenda 2030*. Disponible en: <https://www.gob.mx/agenda2030/documentos/estrategia-nacional-de-la-implementacion-de-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible-en-mexico>
- SIODS. Sistema de Información de los Objetivos del Desarrollo Sostenible, México. (2023). INEGI. *Página Oficial*. <https://agenda2030.mx/#/home>
- Sustainanalytics. (2023). *Página Oficial*. <https://www.sustainalytics.com/>
- Stubbs, W., y Cocklin, C. (2008). Conceptualizing a “sustainability business model”. *Organization y environment*, 21(2), 103-127. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1086026608318042>
- SyP Dow Jones Índices. (2023). *Página oficial*. <https://www.spglobal.com/spdji/es/index-family/indicators/>
- Van Marrewijk, M. (2003). Concepts and definitions of CSR and corporate sustainability: Between agency and communion. *Journal of business ethics*, 44, 95-105. <https://doi.org/10.1023/A:1023331212247>
- World Business Council for Sustainable Development. (2023). *Página oficial*. Disponible en: <https://www.wbcsd.org/>

4. Inteligencia artificial en empresas administradoras de agua como factor de competitividad en México

JORGE ALEJANDRO SILVA RODRÍGUEZ DE SAN MIGUEL *

CHRISTIAN MUÑOZ SÁNCHEZ**

ESTEBAN MARTÍNEZ DÍAZ***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.187.04>

Resumen

Las empresas innovadoras de servicios públicos de agua se han vuelto más competitivas gracias a las tecnologías digitales que continúan revolucionando y mejorando su desempeño. Al aprovechar el poder de la inteligencia artificial y el internet de las cosas, las empresas de gestión del agua utilizan datos para mejorar la prestación de servicios, optimizar sus inversiones de capital y reducir los costos operativos. Este trabajo examinó el uso de la inteligencia artificial en las empresas administradoras de agua como factor de competitividad en México. Para ello, se realizó una revisión sistemática de la literatura en las bases de datos *ProQuest*, *Scopus*, *Nature*, *WATERnetBASE* y *Water*, en los que se obtuvo un total de 43 documentos. De estos 37 fueron seleccionados para el análisis en función de su validez de contenido y relevancia para el tema. Los hallazgos muestran que el uso de inteligencia artificial por parte de las empresas de servicios públicos de agua mejora la competitividad al optimizar los sistemas de apoyo a las decisiones, la inteligencia y los procesos comerciales. Los algoritmos de inteligencia artificial

* Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor de la ESCA-ST, Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0961-4696>

** Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor e investigador de la ESCA-ST, Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8692-4252>

*** Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor e investigador de la ESCA-ST, Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9088-01141>

permiten a las empresas de agua mejorar la previsión y prevenir emergencias, mejorar la eficiencia energética y desarrollar sistemas de agua inteligentes.

Palabras clave: *Inteligencia artificial, servicios públicos de agua, gestión del agua, competitividad empresarial, internet de las cosas.*

Introducción

Antecedentes, significado y alcance del estudio

La inteligencia artificial (IA) es una rama de la informática que simula comportamientos inteligentes en sistemas informáticos, lo que les permite interpretar datos y responder a eventos sin intervención humana. En el contexto de la gestión del agua, la IA se aplica principalmente a las tareas clave, como la gestión de fugas, el control del flujo, el consumo derrochador y la contaminación, y la toma de decisiones estratégicas (Gosavi *et al.*, 2017; Hemdan *et al.*, 2023). El uso de IA está transformando el negocio de los servicios públicos de agua de modelos tradicionales a un nuevo cambio de paradigma conocido como Modelado Hidráulico 2.0 (Jenny *et al.*, 2020). Según el nuevo modelo, diversas tareas, como la conservación de las fuentes de agua, la recolección del agua, la planificación y la distribución, están sujetas a un sistema inteligente que permite a los responsables de la toma de decisiones identificar problemas dentro del sistema y responder a tiempo (Jenny *et al.*, 2020). El uso de IA también ha sido eficaz para reducir las pérdidas atribuidas a frecuentes fugas de agua, uso excesivo y contaminación, conexiones deficientes y uso de agua no contabilizado.

Este documento extrae su importancia del hecho de que la digitalización de la gestión del agua es más una necesidad que una formalidad. La gestión del agua es un sistema complicado que debe satisfacer las demandas de los consumidores, mantener el suministro y la seguridad del agua y monitorear incesantemente la condición de los activos de distribución de agua. El incumplimiento de cualquiera de estas obligaciones puede generar pér-

didadas masivas, interrupciones no planificadas del servicio y daños a la imagen corporativa (Hemdan *et al.*, 2023). Las empresas de gestión del agua ya no pueden ignorar el impacto de la tecnología, especialmente las soluciones de IA, en la mejora de sus servicios y el aumento de la eficiencia operativa (Gosavi *et al.*, 2017). Este artículo se basa en evidencia de estudios anteriores para explicar cómo el uso de la IA entre las empresas administradoras de agua mexicanas se ha convertido en un factor competitivo. El documento explica cómo el uso de la IA hace que las empresas de gestión del agua sean más competitivas que sus contrapartes que todavía están estancadas en los modelos tradicionales. La información obtenida de este documento permitirá a las empresas de gestión del agua en México y en todo el mundo mejorar sus servicios y eficiencia operativa utilizando las soluciones de IA sugeridas. Esto debido a que los datos científicos pueden funcionar como insumo para políticas públicas que aceleren el desarrollo sostenible.

Las secciones principales del documento incluyen una introducción, metodología, resultados, discusión y conclusión. La sección de introducción examina los antecedentes, el alcance y la importancia del tema, analiza las empresas de servicios públicos de agua en México y ofrece un marco de sistemas inteligentes utilizado por las empresas de gestión del agua para optimizar sus operaciones y servicios. La sección de metodología explica los métodos utilizados en la recopilación y el análisis de datos. La sección de resultados mostrará una tabla que contiene resúmenes de los artículos y descripciones de los hallazgos. La sección de discusión proporciona un análisis detallado de los hallazgos, mientras que la conclusión resume los argumentos clave presentados en el documento. Si bien el documento se limita a la evidencia y los argumentos obtenidos de estudios anteriores, se han tomado varias medidas para evitar generalizaciones que puedan afectar la confiabilidad y validez general del estudio.

Empresas de agua en México

El negocio de servicios públicos de agua en México ha estado creciendo constantemente con un mayor consumo. Alrededor del 75% de los ingresos por agua provienen de unos 100 000 clientes en todo el país (Ablanedo-Ro-

sas *et al.*, 2020). Si bien el consumo residencial sigue siendo el mayor, representa una pequeña porción de los ingresos generados por las empresas de servicios públicos de agua (Ablanado-Rosas *et al.*, 2020). México tiene más de 2 400 proveedores de agua municipales, todos administrados por el estado. Hay empresas de servicios públicos más grandes que brindan agua a más de 40 ciudades grandes en todo el país (Ablanado-Rosas *et al.*, 2020). Hay alrededor de 15 ciudades que requieren un suministro especial de agua debido a su gran población (Ablanado-Rosas *et al.*, 2020). El mercado de suministro de agua también está abierto a empresas privadas que han hecho bien en resolver varios problemas que afectan al sector del agua. Los principales reguladores de las empresas de gestión del agua incluyen la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Ablanado-Rosas *et al.*, 2020). La Conagua regula tanto a nivel nacional como regional.

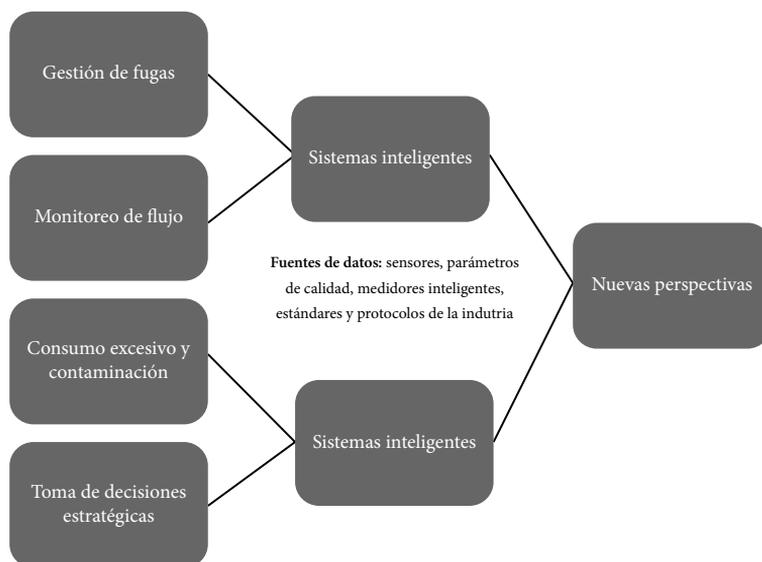
Si bien se han logrado varios logros, las empresas de servicios públicos de agua aún enfrentan varios desafíos, incluida la escasez de agua, la baja calidad del servicio, el envejecimiento de los activos de distribución, las fugas frecuentes y la pérdida masiva de agua, y la baja eficiencia técnica y comercial (Ablanado-Rosas *et al.*, 2020; Saiteja y Ponnappalli, 2023). La escasez de agua en México es muy frecuente en las partes norte y central del país (Walker *et al.*, 2015). Estas áreas pueden requerir esfuerzos adicionales, incluido el tratamiento y reutilización de aguas residuales para aumentar el suministro. Todavía hay una gran cantidad de agua que no se contabiliza incluso después de que los registros demuestren que se realizó el suministro (Ablanado-Rosas *et al.*, 2020). Además, la adopción de las últimas tecnologías, como la IA, aún está rezagada entre las empresas de servicios públicos (Saiteja y Ponnappalli, 2023). Las pocas empresas de servicios públicos que habían adoptado la IA han sido testigos de beneficios significativos, incluida una reducción de las pérdidas atribuidas a ineficiencias técnicas y comerciales deficientes.

Marco de sistemas inteligentes

El tipo de IA necesaria para la gestión eficiente del agua debe diseñarse para métodos numéricos con calibración y campos de datos. Supervisión de Con-

trol y Adquisición de Datos (SCADA) es la IA preferida utilizada por las empresas de gestión del agua para monitorear su sistema de distribución de agua, monitoreo de flujo y consumo derrochador (Ablanedo-Rosas *et al.*, 2020). Un marco típico de sistemas inteligentes se muestra a continuación en la figura 1. Las secciones principales del marco incluyen las tareas clave de toma de decisiones, los sistemas inteligentes y nuevos conocimientos. Las tareas clave para la toma de decisiones incluyen la gestión de fugas, el control del flujo, el consumo derrochador y la contaminación, y la toma de decisiones estratégicas (Jenny *et al.*, 2020). Los datos que respaldan este marco se obtienen de varias fuentes, incluidos sensores, medidores inteligentes, parámetros de calidad y estándares y protocolos de la industria.

Figura 1. Aprovechamiento de los sistemas inteligentes para mejorar la gestión de los recursos hídricos



Nota: Adaptado de Main Components of a Network Analysis System, Including Hydraulic Modeling 2.0 Functionalities, H. Jenny *et al.* (2020).

Metodología

El método de investigación seleccionado para este estudio es una revisión sistemática de la literatura. El método fue elegido porque es integral, preciso al establecer los resultados, explícito en los métodos y fácil de reproducir en estudios posteriores. La revisión sistemática es adecuada cuando los investigadores buscan respuestas específicas de sus fuentes (Dela Cruz *et al.*, 2017). Por ejemplo, los investigadores pueden usar revisiones sistemáticas para determinar si una intervención específica está relacionada con un resultado determinado (Ablanedo-Rosas *et al.*, 2020). La revisión sistemática también es exhaustiva tanto en el alcance como en la calidad de la evidencia. Dado que los investigadores obtienen datos de un gran conjunto de datos, es más lógico sacar conclusiones razonables basadas en los hallazgos. Los métodos utilizados suelen ser específicos, claramente planificados y fáciles de repetir en estudios posteriores (Dela Cruz *et al.*, 2017). Si hay un problema en los resultados finales, los investigadores pueden rastrear fácilmente los pasos y hacer las correcciones necesarias.

Formulación de pregunta

Los investigadores eligieron un enfoque exploratorio para desarrollar una pregunta de investigación adecuada. El primer paso consistió en revisar el tema y las cuestiones que lo rodean. En este caso, el tema de investigación se centró en el uso de la IA como factor de competitividad entre las empresas gestoras de agua en México. Los investigadores también exploraron cuestiones relacionadas con el tema que pueden influir en los resultados. El segundo paso consistió en investigar el tema para identificar posibles lagunas que la investigación abordaría. Esto fue esencial porque el papel principal de la investigación es crear nueva información y apoyar el crecimiento de la alfabetización informacional. Como último paso se examinó las necesidades de la audiencia y cómo se pueden incorporar a la pregunta de investigación final. La pregunta formulada quedó así: “¿Cómo las empresas administradoras de agua en México utilizan la IA como factor competitivo?”. La pregunta capturó el objetivo principal de la investigación que es deter-

minar el uso de la IA como factor competitivo entre las empresas administradoras de agua en México.

Selección y análisis de fuentes

La búsqueda booleana y el muestreo de bola de nieve se utilizaron para identificar y seleccionar las fuentes utilizadas en el estudio. La búsqueda booleana implica el uso de palabras clave para buscar estudios anteriores disponibles en bases de datos en línea como *ProQuest*, *Scopus*, *Nature*, *WATERnetBASE* y *Water*. La búsqueda booleana fue el método principal utilizado para obtener más del 80% de todos los estudios utilizados en el documento. El muestreo de bola de nieve implica utilizar las referencias en los estudios seleccionados para encontrar recursos adicionales (Nickum *et al.*, 2020). Esto solo es necesario cuando la búsqueda booleana no puede recuperar todas las fuentes requeridas. El muestreo de bola de nieve se utilizó para obtener alrededor del 20% de las fuentes utilizadas en el estudio. En total, se seleccionaron 40 estudios anteriores para el análisis en función de su validez de contenido, relevancia para el tema, año de publicación y nivel de evidencia.

Análisis de los datos

Se obtuvieron un total de 43 documentos de varias bases de datos en línea. De estos, se seleccionaron un total de 37 para su posterior análisis y discusión. Los resultados resumidos que contienen los principales hallazgos de cada artículo se muestran en la tabla que se muestra a continuación. La tabla también indica evidencia suficiente para respaldar el uso de la IA como factor competitivo por parte de las empresas administradoras de agua en México. Dado que los datos se obtienen de varios artículos, los investigadores pudieron determinar la consistencia general entre los investigadores y las áreas en las que los investigadores parecían diferir. Los puntos de diferenciación entre los investigadores pueden proporcionar direcciones para futuros estudios sobre el tema.

Resultados

La siguiente tabla muestra los 37 estudios anteriores: 36 artículos de revistas y 1 libro. Se seleccionó un modelo narrativo para la exhibición porque brinda respuestas a la pregunta de investigación. Dado que la pregunta de investigación se centró en los aspectos competitivos de la aplicación de IA en la gestión del agua, un modelo narrativo ayuda a proporcionar respuestas detalladas a la pregunta. Se habría adoptado un enfoque diferente, como el análisis de regresión, si la pregunta de investigación exigiera una respuesta numérica.

Tabla 1. *Estudios seleccionados*

<i>Número</i>	<i>Autores y fecha</i>
1	Mounce <i>et al.</i> (2015).
2	Wu <i>et al.</i> (2015)
3	Karwot <i>et al.</i> (2016)
4	Dela Cruz <i>et al.</i> (2017)
5	Gosavi <i>et al.</i> (2017)
6	Howell <i>et al.</i> (2017)
7	Nguyen <i>et al.</i> (2017)
8	Satiya <i>et al.</i> (2017)
9	Radhakrishnan y Wu (2018)
10	Al Aani <i>et al.</i> (2019)
11	Dogo <i>et al.</i> (2019)
12	Jha <i>et al.</i> (2019)
13	Kamienski <i>et al.</i> (2019)
14	Sun y Scanlon (2019)
15	Antzoulatos <i>et al.</i> (2020)
16	Goralski y Tan (2020)
17	Gupta <i>et al.</i> (2020)
18	Jenny <i>et al.</i> (2020)
19	Nickum <i>et al.</i> (2020)
20	Ray y Goswami (2020)
21	Vinod Kumar <i>et al.</i> (2020)
22	Al Masum y Al Noman (2021)
23	Blessy (2021)

24	Mounce (2021)
25	Rahaman y Jamil (2021)
26	Sharma <i>et al.</i> (2021)
27	Singh y Ahmed (2021)
28	Xiang <i>et al.</i> (2021)
29	Yasin <i>et al.</i> (2021)
30	Ashwini <i>et al.</i> (2022)
31	Bhardwaj <i>et al.</i> (2022)
32	Hassan <i>et al.</i> (2022)
33	Krishnan <i>et al.</i> (2022).
34	Lowe <i>et al.</i> (2022)
35	Zekri <i>et al.</i> (2022)
36	Akkem <i>et al.</i> (2023)
37	Zeng <i>et al.</i> (2023)

Discusión

Reducción del agua no contabilizada

El estudio examinó cómo las empresas de gestión de agua en México utilizan la IA como factor competitivo. La pregunta que se hizo fue: “¿Cómo las empresas administradoras de agua en México utilizan la IA como factor competitivo?”. El estudio encontró que la IA promueve la competitividad al reducir las pérdidas atribuidas a una responsabilidad deficiente, satisfacer las demandas de los consumidores, participar en el monitoreo de activos y mantener la seguridad del agua (Mounce *et al.*, 2015; Karwot *et al.*, 2016). La IA permite a las empresas de gestión del agua detectar problemas en sus sistemas y responder a tiempo (Wu *et al.*, 2015; Dela Cruz *et al.*, 2017). Dado que la mayoría de las empresas de gestión del agua tienen activos de distribución de agua antiguos, el riesgo de fugas es muy alto (Dela Cruz *et al.*, 2017). La IA realiza un seguimiento regular del sistema e informa sobre posibles problemas dentro de las tuberías de distribución (Mounce *et al.*, 2015). Esto permite a las empresas de gestión del agua prevenir emergencias que pueden provocar interrupciones frecuentes de los servicios (Gosavi *et al.*, 2017). La IA mejora la competitividad al reducir el agua no contabilizada, optimizar el apoyo a las decisiones y optimizar los procesos comerciales. Los detalles sobre los hallazgos se discuten a continuación.

El agua no contabilizada es uno de los principales efectos de la mala gestión entre las empresas de gestión del agua y representa alrededor del 20% tanto de los ingresos como de la pérdida de agua (Gosavi *et al.*, 2017). Según Kamienski *et al.* (2019), el agua no contabilizada puede ser causado por muchos factores, incluidos medidores rotos o manipulados, mala lectura del medidor, cálculos inexactos y mantenimiento deficiente de registros, y robo de agua. Otras posibles causas de agua no contabilizada son las tuberías rotas y las fugas frecuentes (Wu *et al.*, 2015). El término “no contabilizado” indica que los registros de suministro no se corresponden con los registros de ingresos (Satiya *et al.*, 2017). En otras palabras, la empresa de gestión del agua ha suministrado más agua que los ingresos generados en el mismo período. El agua no contabilizada impacta la competitividad de las empresas de gestión del agua al negarles la compensación que necesitan por sus servicios (Dela Cruz *et al.*, 2017). Sin ingresos, también se vuelve difícil para las empresas de gestión del agua competir de manera efectiva y superar los desafíos potenciales en el mercado.

El uso de IA resuelve el problema al eliminar varias complejidades de la conexión en tiempo real a los sistemas digitales de la empresa de gestión del agua. El uso de IA proporciona una infraestructura digital, incluidos medidores y sensores inteligentes (Wu *et al.*, 2015; Singh y Ahmed, 2021). Los medidores y sensores inteligentes se pueden clasificar en términos generales en el IoT que va junto con el sistema de IA. El IoT es compatible con el sistema de IA mediante la recopilación de los datos necesarios para determinar los posibles problemas en las tuberías de conexión o medidores. Según Goralski *et al.* (2020), el enfoque numérico de la IA bajo SCADA también realiza los cálculos matemáticos necesarios para evaluar el estado de las tuberías de conexión y los medidores inteligentes, brindando informes en tiempo real. Esto permite a los tomadores de decisiones abordar rápidamente los problemas identificados y prevenir pérdidas (Howell *et al.*, 2017; Xiang *et al.*, 2021). Al identificar posibles problemas con la medición o la conexión, el uso de la IA permite a las empresas de gestión del agua evitar pérdidas atribuidas a medidores manipulados, lecturas deficientes o robos directos.

En México, las empresas de gestión del agua atienden a grandes poblaciones y tienen que lidiar con grandes cantidades de datos en un momento

dato. La mayoría de las empresas de gestión de agua del país miden su competitividad por su capacidad para procesar datos en tiempo real y tomar decisiones adecuadas (Al Aani *et al.*, 2019). El uso de IA mejora la capacidad de evaluar el desempeño de la infraestructura de distribución de agua utilizando grandes conjuntos de datos en tiempo real (Dogo *et al.*, 2019). Teniendo en cuenta la duración limitada que las empresas de gestión del agua pueden tener para evitar interrupciones de emergencia, la tecnología de IA se convierte en una necesidad importante. Las herramientas de IA como SCADA están diseñadas para procesar grandes cantidades de datos y tomar las medidas adecuadas incluso sin intervención humana (Kamienski *et al.*, 2019). Por ejemplo, cada vez que hay una fuga, la IA comprende la válvula específica o la línea de distribución que debe cerrarse rápidamente para evitar la pérdida de agua y de ingresos.

Las empresas de gestión del agua también evalúan su competitividad en función de su capacidad para aprovechar eventos pasados para prevenir problemas futuros. Los eventos pasados ofrecen lecciones importantes que pueden ayudar a las empresas de gestión del agua a mejorar sus servicios y cumplir con las normas y estándares de la industria (Sun *et al.*, 2019). Los algoritmos de IA se basan en patrones como los volúmenes de agua para identificar eventos específicos que condujeron a rupturas de tuberías o interrupciones de sensores anteriores (Dogo *et al.*, 2019). Por ejemplo, algunos de los eventos, como las roturas de tuberías, ocurren durante las estaciones lluviosas cuando hay una gran cantidad de agua fluyendo a través de las tuberías. La presión ejercida por el aumento del volumen de agua puede provocar la explosión de la tubería y la posibilidad de interrupciones en el suministro de agua (Satiya *et al.*, 2017; Xiang *et al.*, 2021). Los algoritmos de IA son capaces de identificar patrones asociados a eventos particulares y recomendar acciones adecuadas para prevenir pérdidas (Goralski y Tan, 2020). Esto hace que las empresas de gestión del agua sean más competitivas a la hora de detectar problemas en sus sistemas y resolverlos rápidamente sin causar interrupciones innecesarias y evitables.

La IA también ha mostrado un éxito significativo al comparar las estimaciones de agua no contabilizada bajo los algoritmos de IA y las producidas bajo los métodos tradicionales. La comparación simultánea permite a las empresas de gestión del agua determinar la cantidad de agua y los ingre-

sos que perderían con las prácticas convencionales y los que pierden con la tecnología de IA (Antzoulatos *et al.*, 2020). Ser una empresa de gestión del agua competitiva se basa en la capacidad de la organización para prevenir pérdidas en los ingresos y el agua (Kamienski *et al.*, 2019; Goralski y Tan, 2020). Se desaconsejan mucho las pérdidas en el agua por los efectos negativos que puede tener sobre el medio ambiente (Gupta *et al.*, 2020). Al ser un bien escaso, especialmente en el norte y centro de México, el agua debe protegerse del uso excesivo y el desperdicio innecesarios (Howell *et al.*, 2017; Krishnan *et al.*, 2022). Las empresas de gestión de agua ubicadas en las partes norte y central de México tienen la responsabilidad adicional de convertir las aguas residuales en productos significativos, incluida agua limpia y segura para uso doméstico (Rahaman y Jamil, 2021). La prevención de pérdidas es parte de la estrategia general para conservar el agua mientras se fomenta el consumo responsable y responsable.

El agua no contabilizada es uno de los indicadores clave de rendimiento que utilizan las empresas de gestión del agua para medir su rendimiento y su capacidad para cumplir con los estándares y protocolos de la industria. Según Hasan *et al.* (2022), mantener el agua no contabilizada muy bajo es una fuerte medida de competitividad porque demuestra la capacidad de una organización para operar con un desperdicio y un costo mínimos (Gupta *et al.*, 2020). Las soluciones de IA lo hacen posible al permitir que las organizaciones de gestión del agua detecten problemas dentro de los sistemas, incluidos medidores alterados o lecturas deficientes, y tomen medidas inmediatas para evitar pérdidas (Sun *et al.*, 2019). Las empresas de gestión del agua también realizan comparaciones para determinar las pérdidas potenciales que pueden generar bajo métodos convencionales en comparación con las plataformas digitales (Howell *et al.*, 2017). La capacidad de prevenir pérdidas y posibles interrupciones en los servicios es una medida significativa de la competitividad entre las empresas de gestión del agua (Sharma *et al.*, 2021). Además, la construcción de un sistema de gestión del agua sólido y eficaz permite a las empresas de gestión del agua cumplir con los requisitos de los estándares y protocolos de regulación de la industria actual.

Optimización del soporte de decisiones

Los sistemas de soporte de decisiones son herramientas que permiten a los tomadores de decisiones analizar datos y emitir juicios efectivos. Un sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS, por sus siglas en inglés) eficiente permite a las empresas de gestión del agua evitar pérdidas al sellar las lagunas potenciales que permiten el fraude y las pérdidas (Jenny *et al.*, 2020). El uso de IA optimiza el sistema de soporte de decisiones mediante el uso de una función objetivo numérica (Satiya *et al.*, 2017). La IA analiza big data y entrena a las computadoras para identificar desafíos dentro del sistema y sugerir formas en que se pueden resolver los problemas (Mounce, 2021). Los sensores, por ejemplo, brindan información sobre el suministro de agua y si hay un aumento o disminución del volumen según los patrones climáticos (Goralski y Tan, 2020). Los algoritmos de IA realizan tanto análisis de observabilidad como análisis operativos para identificar problemas en tiempo real y sugerir soluciones a los responsables de la toma de decisiones (Nguyen *et al.*, 2017). Esto permite a las empresas de servicios públicos de agua evitar posibles interrupciones en sus servicios y mejorar su imagen corporativa ante los clientes.

La IA apoya las decisiones al optimizar el diseño de las redes de monitoreo y control. Uno de los retos que enfrentan las empresas gestoras de agua son las frecuentes fallas en sus redes de monitoreo y control (Antzoulatos *et al.*, 2020). Con base en la alta demanda de agua y una gran cantidad de clientes que reciben servicios, las posibilidades de perder sensores o recopilar datos inadecuados son altas entre las empresas que dependen de métodos de monitoreo y control convencionales (Jenny *et al.*, 2020; Hassan *et al.*, 2022). Los algoritmos de IA proporcionan criterios específicos para definir la ubicación de todos los sensores dentro de la red (Dogo *et al.*, 2019). Esto permite que la empresa de servicios de agua recopile el máximo de datos de sus sensores en toda la red. Los algoritmos también minimizan la necesidad de varias unidades de control ya que pueden monitorear todos los sensores desde una sola interfaz (Blessy, 2021). El uso de una única interfaz de monitoreo y control reduce el costo total de las operaciones y evita errores cometidos por juicios contradictorios obtenidos de diferentes unidades de control (Kamienski *et al.*, 2019). El uso de IA también prio-

riza la instalación de manómetros para reemplazar los costosos medidores de flujo.

Hay varios tipos de pérdida de agua e interrupciones del servicio que la mayoría de las empresas de gestión del agua pueden no entender o tener dificultades para abordar. La detección numérica de pérdidas de agua tanto físicas como aparentes sigue siendo un desafío importante para las empresas de gestión del agua (Gupta *et al.*, 2020). La IA resuelve el problema al asignar un grado de incertidumbre a los datos existentes para permitir el monitoreo en tiempo real del estado de la red (Sharma *et al.*, 2021). Los algoritmos de IA también realizan una calibración probabilística de la red, que es más efectiva que la calibración determinista que sólo ocurre una vez en un punto determinado (Sun *et al.*, 2019). La calibración probabilística de la red permite a la empresa de gestión del agua determinar la pérdida real de agua que se ha producido en un período determinado (Satiya *et al.*, 2017).

La información también permite a la empresa de gestión del agua desarrollar soluciones más directas y prácticas al problema, en lugar de confiar en conjeturas (Hassan *et al.*, 2022). Al aprovechar el poder de la calibración probabilística de la red y el monitoreo en tiempo real, la IA mejora la competitividad al eliminar los errores comunes que pueden inducir a error a las empresas de gestión del agua a tomar decisiones inexactas.

El suministro de agua es una industria intensiva en energía y uno de los principales contribuyentes a las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, el uso de la IA está permitiendo a las empresas de gestión del agua reducir sus emisiones de carbono al reducir el consumo de energía en las instalaciones de bombeo y los tanques de almacenamiento (Alam *et al.*, 2021). Los algoritmos de IA logran este hito al definir los procedimientos operativos más eficientes utilizando los estándares regulatorios y de la industria predeterminados (Lowe *et al.*, 2022). Las configuraciones predeterminadas tanto de las instalaciones de bombeo como de los tanques de almacenamiento también permiten que los algoritmos monitoreen el consumo de energía mientras eliminan los procesos que consumen energía excesiva (Dogo *et al.*, 2019). La tecnología de IA permite a las empresas de gestión del agua tomar decisiones oportunas, como el reemplazo de bombas, cambiar los contratos y tarifas de energía o aumentar la capacidad de alma-

cenamiento de agua (Bhardwaj *et al.*, 2022). Por ejemplo, una bomba envejecida puede convertirse en una fuente importante de consumo de energía, ya que necesita fuerza adicional para bombear agua a los destinos deseados (Akkem *et al.*, 2023). La IA también puede recomendar otros enfoques, incluido el reemplazo de motores de energía fósil con bombas de agua que funcionan con energía solar para reducir tanto el costo de la energía como las emisiones de carbono.

Los algoritmos de IA permiten a las empresas de gestión del agua clasificar con precisión los patrones de consumo y la previsión de la demanda. Según Zeng *et al.* (2023), el consumo de agua cambia a lo largo del año en función de las estaciones, el clima y las fluctuaciones en el número de usuarios. La clasificación de consumo permite a las empresas de gestión del agua identificar áreas específicas con demanda alta, media y baja (Jenny *et al.*, 2020). Las ciudades, por ejemplo, se encuentran entre las áreas de alta demanda donde se deben bombear millones de toneladas de agua todos los días para satisfacer las necesidades diarias (Zekri *et al.*, 2022). Las áreas rurales se clasifican principalmente entre las áreas de bajo consumo porque la mayoría de las personas han cavado pozos u obtenido agua de los ríos, océanos o mares cercanos (Satiya *et al.*, 2017). La tecnología de IA permite a las empresas de gestión del agua optimizar el sistema de distribución y desarrollar pronósticos precisos que eviten la escasez. La previsión adecuada también permite a las empresas de gestión del agua almacenar suficiente agua para la temporada de alta demanda (Antzoulatos *et al.*, 2020). Además, las previsiones a largo plazo permiten a las empresas de agua ampliar sus servicios con un riesgo mínimo de generación de pérdidas.

Las empresas de gestión del agua también deben comprender cómo las condiciones climáticas futuras y los escenarios económicos afectarán sus servicios. Por ejemplo, es más probable que el cambio climático presente varios desafíos, incluido un aumento de la escasez de agua en áreas que ya están experimentando escasez de agua (Antzoulatos *et al.*, 2020). Las empresas de gestión del agua deben desarrollar pasos estratégicos para construir un futuro que sea menos susceptible a los desafíos externos previsibles (Jenny *et al.*, 2020). Los algoritmos de IA pueden hacer coincidir con precisión los datos con eventos potenciales en escenarios económicos actuales y futuros (Al Aani *et al.*, 2019; Sun *et al.*, 2019). Esto permite a las empresas

de gestión del agua planificar pensando en el futuro. Por ejemplo, si hay partes de México que probablemente experimenten sequías significativas en las próximas décadas, las empresas de gestión del agua pueden planificar de manera efectiva mediante la construcción de embalses más grandes y plantas de recuperación de aguas residuales para impulsar los suministros futuros (Vinod Kumar *et al.*, 2020). La planificación orientada al futuro también es adecuada para superar la presión competitiva de los rivales, incluidos los nuevos participantes en el mercado.

La gestión del agua puede obtener el valor de sus inversiones de capital al reducir el costo de las operaciones mientras expande su base de ingresos. El uso de herramientas avanzadas de IA permite a las empresas de gestión del agua identificar las formas más eficientes de configurar sus operaciones comerciales a costos reducidos (Gupta *et al.*, 2020; Bhardwaj *et al.*, 2022). Las herramientas avanzadas de IA son capaces de identificar áreas potenciales donde la expansión comercial debe explotarse para generar más ingresos. Los algoritmos de IA dedicados están diseñados para ayudar a las empresas de gestión del agua a identificar expansiones de red alternativas (Dogo *et al.*, 2019). Esto puede incluir la exploración de pueblos donde el suministro de agua corriente es aún muy limitado. Las poblaciones urbanas y suburbanas de México cuentan con un suministro suficiente de agua corriente, pero se ha hecho muy poco para satisfacer las diversas necesidades de los pueblos (Bhardwaj *et al.*, 2022). Una de las expansiones potenciales puede incluir el tratamiento de aguas residuales para proporcionar agua para riego y nutrientes para productos agrícolas (Jha *et al.*, 2019). La población rural proporciona negocios potenciales para convertir las aguas residuales en productos útiles necesarios para el riego y otros servicios.

El monitoreo y la gestión de activos sigue siendo un desafío importante para la mayoría de las empresas de gestión del agua en México. Proteger los activos clave de distribución de agua de los daños físicos y químicos sigue siendo una de las principales prioridades entre las empresas de gestión del agua (Zeng *et al.*, 2023). Sin embargo, los recursos necesarios para la gestión eficiente de los activos siguen siendo esquivos para la mayoría de las empresas de gestión del agua (Yasin *et al.*, 2021; Zekri *et al.*, 2022). Según Yasin *et al.* (2021), la infraestructura crítica, como las tuberías de distribución de agua, puede ser dañada por humanos en los casos en que están

expuestas sobre el suelo o experimentan daños químicos debido al envejecimiento y otros factores ambientales. El uso de IA permite a las empresas de gestión del agua mapear los activos de distribución clave y los posibles desafíos que enfrentan (Satiya *et al.*, 2017). El uso de sensores permite que las empresas de agua identifiquen posibles problemas, como roturas, grietas o corrosión, y sugieran formas de abordar el problema (Alam *et al.*, 2021). La IA también puede sugerir áreas seguras donde se pueden construir futuras tuberías sin exponerlas a un peligro potencial en el entorno externo.

Optimización de procesos de negocio

La IA mejora y optimiza los procesos comerciales de muchas maneras, incluida la automatización, la inteligencia comercial, la gestión del conocimiento, la imagen corporativa y la ciberseguridad. La automatización de procesos es una de las principales características que la IA aporta a los negocios (Radhakrishnan y Wu, 2018). Las tareas que la IA puede automatizar incluyen la entrada de datos, la recopilación de datos, la programación de tareas, el procesamiento de nóminas, la copia de seguridad de archivos y el envío de recordatorios por correo electrónico. En la entrada de datos, por ejemplo, los sensores habilitados para IA recopilan datos de varias herramientas y equipos, incluidos tanques de almacenamiento, tuberías de agua, manómetros y cualquier otra herramienta de monitoreo y control (Sun *et al.*, 2019; Alam *et al.*, 2022). Al automatizar los procesos, la IA permite a las empresas de gestión del agua mejorar la eficiencia operativa y reducir el costo total de las operaciones (Ashwini *et al.*, 2022). La automatización de procesos también elimina errores y previene pérdidas que pueden ocurrir debido a errores en la recolección y análisis de datos (Dogo *et al.*, 2019; Jha *et al.*, 2019). Además, la automatización de procesos mejora la competitividad general de una organización al aumentar la productividad y el valor general derivado de cada inversión en el negocio.

La IA impulsa la inteligencia comercial a través de la integración, el pronóstico de tendencias y la visualización inteligente. La IA consolida datos de varias fuentes dentro e incluso fuera de la empresa de servicios públicos de agua (Al Aani *et al.*, 2019). Las fuentes de datos incluyen clientes, finanzas, operaciones, rivales en el mercado, marketing y agencias guber-

namentales (Xiang *et al.*, 2021). Los datos obtenidos de diversas fuentes permiten a la empresa realizar un seguimiento de las tendencias y determinar la capacidad para cumplir con los indicadores clave de rendimiento. Por ejemplo, si la empresa planea aumentar su base de clientes en un 20 por ciento durante los próximos cinco años, la IA puede desglosar el progreso en informes diarios y mensuales, colocando a la empresa en una mejor posición para realizar los ajustes oportunos necesarios para lograr el objetivo general. objetivos (Antzoulatos *et al.*, 2020; Yasin *et al.*, 2021). Los indicadores clave de rendimiento promueven la competitividad al ayudar a las empresas de gestión del agua a mapear el progreso de su negocio y hacer los ajustes necesarios para lograr sus objetivos.

Otros aspectos significativos de la inteligencia empresarial incluyen la visualización inteligente y la previsión de tendencias. La visualización inteligente implica la creación de gráficos, paneles y personal de operaciones que permitan a los gerentes mapear el progreso del negocio hacia el logro de los objetivos generales (Jenny *et al.*, 2020). El pronóstico de tendencias implica el análisis de datos para identificar relaciones entre tendencias y variables (Radhakrishnan y Wu, 2018). Por ejemplo, las empresas de gestión del agua pueden combinar datos sobre población y demanda para desarrollar pronósticos precisos sobre futuros patrones de consumo (Dogo *et al.*, 2019). El uso de algoritmos hace que el análisis de datos sea más preciso y completo al detectar patrones en los negocios y su influencia en las tasas de consumo (Ray y Goswami, 2020). La creación de una inteligencia empresarial sólida permite a las empresas de gestión del agua evitar desafíos en sus operaciones comerciales y lograr un crecimiento significativo de los ingresos (Nickum *et al.*, 2020). La inteligencia comercial permite a las empresas de gestión del agua mantenerse a la vanguardia al planificar de manera efectiva y responder rápidamente a los desafíos potenciales.

La IA juega un papel importante en la construcción de una gestión eficaz del conocimiento. Según Ablanedo-Rosas *et al.* (2020), la gestión del conocimiento implica recopilar, analizar y preservar los activos de datos de una organización. La gestión del conocimiento ayuda a construir una cultura y prácticas organizacionales sólidas (Al Aani *et al.*, 2019). Varios componentes de la plataforma de gestión del conocimiento de IA incluyen gestión de recursos humanos, colaboración e intercambio de conocimientos y plata-

formas de aprendizaje electrónico. La IA ayuda a evaluar e identificar las brechas de conocimiento entre los empleados y su impacto en los proyectos de la organización (Radhakrishnan y Wu, 2018). Una vez que se identifican las brechas de conocimiento, la IA puede programar capacitación regular en el trabajo para equipar a la fuerza laboral con las habilidades requeridas. El propósito de las plataformas de aprendizaje electrónico es permitir el aprendizaje continuo y el desarrollo de habilidades. Las empresas de gestión del agua deben capacitar a su fuerza laboral en diversos temas, nueva información y formas en que pueden superar diversos desafíos (Alam *et al.*, 2021). Cerrar las brechas de conocimiento también eleva la moral entre la fuerza laboral y los motiva a lograr varios objetivos comerciales.

La IA también se ha convertido en una herramienta esencial para construir una imagen corporativa poderosa y protegerse contra la ciberseguridad. La digitalización del suministro de agua también expone a varias empresas de gestión del agua a varios desafíos en el mercado (Gupta *et al.*, 2020; Hmoud Al-Adhaileh y Waselallah Alsaade, 2021). Uno de los desafíos más serios que pueden enfrentar las empresas de agua son los ataques cibernéticos. En 2021, por ejemplo, un grupo de ciberataques intentó envenenar el suministro de agua de California, exponiendo vulnerabilidades potenciales que deberían abordarse (Radhakrishnan y Wu, 2018; Dogo *et al.*, 2019). La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos se movió rápidamente para prevenir futuros ataques cibernéticos en las instalaciones de agua sellando varias lagunas (Jha *et al.*, 2019). Los ciberataques siguen siendo una amenaza importante para las empresas de gestión del agua y deben someterse a una evaluación y mitigación periódicas. Las empresas de gestión del agua pueden confiar en la IA para identificar posibles debilidades dentro de su infraestructura de tecnología de la información y sugerir formas en las que se pueden abordar los desafíos (Ray y Goswami, 2020). Los algoritmos de IA también permiten un sistema de copia de seguridad automatizado que protege los archivos confidenciales de posibles daños en caso de ataques cibernéticos (Sun *et al.*, 2019; Antzoulatos *et al.*, 2020). La realización de actualizaciones periódicas del sistema también protege contra los ataques cibernéticos al reemplazar los paquetes de datos viejos o dañados que los ciberdelincuentes pueden usar para atacar el sistema de suministro y distribución de agua.

Conclusiones

Las empresas de gestión de agua en México están experimentando transformaciones digitales para minimizar el desperdicio, mejorar la productividad y reducir el costo de las operaciones. Como factor competitivo, el documento descubrió que el uso de IA permite a las empresas de gestión del agua reducir los desechos asociados con el agua no contabilizada, optimizar los sistemas de apoyo a las decisiones y optimizar la inteligencia comercial. Los algoritmos de IA se basan en patrones en las operaciones comerciales para identificar posibles problemas en las operaciones comerciales y sugerir soluciones adecuadas. Una de las ganancias competitivas claves encontradas en la investigación es la previsión y la prevención de emergencias. Las empresas de artículos están más acostumbradas a reaccionar ante emergencias que a desarrollar mecanismos de prevención eficaces. El uso de algoritmos de IA permite a las empresas de agua recopilar datos de sus grandes redes de distribución, identificar posibles debilidades en los sistemas y prevenir emergencias causadas por roturas de tuberías o escasez de agua. La IA logra pronósticos precisos al categorizar el consumo y analizar patrones para determinar duraciones anuales específicas en las que es probable que el consumo sea alto o bajo. Esto permite un suministro eficiente de agua y contribuye a construir una imagen corporativa positiva.

La IA habilita sistemas de agua inteligentes, prioriza la conservación y mejora la eficiencia energética. Los sistemas de agua inteligentes son una fuerte capacidad competitiva que permite a las compañías de agua evitar la pérdida de miles de millones de galones cada año. El envejecimiento de la infraestructura es una causa importante de fugas en las tuberías y pérdidas masivas de agua. Las estimaciones deficientes de la demanda de los consumidores también pueden conducir a casos en los que se consume una cantidad significativa de agua sin rendir cuentas. La naturaleza competitiva de las empresas de gestión del agua depende de su capacidad para evitar pérdidas, impulsar la producción, crear flujos de ingresos adicionales y diferenciar sus servicios del resto del mercado. La IA permite que las empresas de agua satisfagan las necesidades de sus clientes mediante la recopilación periódica de datos y el ajuste en función de las demandas. La IA también

maximiza la productividad al identificar oportunidades de crecimiento potencial que pueden impulsar los ingresos futuros. Al aprovechar el poder de la IA, las empresas de servicios públicos de agua también están en una mejor posición para cumplir con los estándares regulatorios y de la industria. La IA también ayuda a construir una infraestructura resistente que sea capaz de superar los desafíos climáticos y económicos.

Bibliografía

- Ablanedo-Rosas, J. H., Guerrero Campanur, A., Olivares-Benitez, E., Sánchez-García, J. Y., y Nuñez-Ríos, J. E. (2020). Operational efficiency of Mexican water utilities: results of a double-bootstrap data envelopment analysis. *Water*, 12(2), 553. <https://doi.org/10.3390/w12020553>
- Akkem, Y., Biswas, S. K., y Varanasi, A. (2023). Smart farming using artificial intelligence: A review. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 120, 105899. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.105899>
- Al Aani, S., Bonny, T., Hasan, S. W., y Hilal, N. (2019). Can machine language and artificial intelligence revolutionize process automation for water treatment and desalination? *Desalination*, 458, 84-96. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.02.005>
- Alam, G., Ihsanullah, I., Naushad, M., y Sillanpää, M. (2022). Applications of artificial intelligence in water treatment for optimization and automation of adsorption processes: Recent advances and prospects. *Chemical Engineering Journal*, 427, 130011. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130011>
- Alam, M. N., Shufian, A., Al Masum, M. A., y Al Noman, A. (2021, July). Efficient smart water management system using IoT technology. En *2021 International Conference on Automation, Control, and Mechatronics for Industry 4.0 (ACMI)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ACMI53878.2021.9528202>
- Antzoulatos, G., Mourtziotis, C., Stournara, P., Kouloglou, I. O., Papadimitriou, N., Spyrou, D., Mentis, A., Nikolaidis, E., Karakostas, A., Kourtesis, D. y Vrochidis, S. (2020). Making urban water smart: the Smart-Water solution. *Water Science and Technology*, 82(12), 2691-2710. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.391>
- Ashwini, B. P., Savithramma, R. M., y Sumathi, R. (2022, May). Artificial Intelligence in Smart city applications: An Overview. In *2022 6th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)* (pp. 986-993). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICICCS53718.2022.9788152>
- Bhardwaj, A., Kumar, M., Alshehri, M., Keshta, I., Abugabah, A., y Sharma, S. K. (2022). Smart water management framework for irrigation in agriculture. *Environmental Technology*, 1-15. <https://doi.org/10.1080/09593330.2022.2039783>
- Blessy, J. A. (2021, February). Smart irrigation system techniques using artificial intelligence and IoT. In *2021 Third International Conference on Intelligent Communication*

- Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV)* (pp. 1355-1359). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICICV50876.2021.9388444>
- Dela Cruz, J. R., Baldovino, R. G., Bandala, A. A., y Dadios, E. P. (2017, May). Water usage optimization of Smart Farm Automated Irrigation System using artificial neural network. In *2017 5th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)* (pp. 1-5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICoICT.2017.8074668>
- Dogo, E. M., Salami, A. F., Nwulu, N. I., y Aigbavboa, C. O. (2019). Blockchain and Internet of Things-Based Technologies for Intelligent Water Management System. En F. Al-Turjman (Ed.), *Artificial intelligence in IoT* (pp. 129-150). Springer. <https://doi.org/10.2166/wpt.2012.089>
- Goralski, M. A., y Tan, T. K. (2020). Artificial intelligence and sustainable development. *The International Journal of Management Education*, 18(1), 100330. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2019.100330>
- Gosavi, G., Gawde, G., y Gosavi, G. (2017, May). Smart water flow monitoring and forecasting system. En *2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information y Communication Technology (RTEICT)* (pp. 1218-1222). IEEE. <https://doi.org/10.1109/RTEICT.2017.8256792>
- Gupta, A. D., Pandey, P., Feijóo, A., Yaseen, Z. M., y Bokde, N. D. (2020). Smart water technology for efficient water resource management: A review. *Energies*, 13(23), 6268. <https://doi.org/10.3390/en13236268>
- Hassan, A. M., Ayoub, M. A., Mohyadinn, M. E., Al-Shalabi, E. W., y Alakbari, F. S. (2022, March). A new insight into smart water assisted foam SWAF technology in carbonate rocks using artificial neural networks ANNs. En *Offshore Technology Conference Asia*. OnePetro. <https://doi.org/10.4043/31663-MS>
- Hemdan, E. E. D., Essa, Y. M., Shouman, M., El-Sayed, A., y Moustafa, A. N. (2023). An efficient IoT based smart water quality monitoring system. *Multimedia Tools and Applications*, 1-25. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-14504-z>
- Hmoud Al-Adhaileh, M., y Waselallah Alsaade, F. (2021). Modelling and prediction of water quality by using artificial intelligence. *Sustainability*, 13(8), 4259. <https://doi.org/10.3390/su13084259>
- Howell, S., Rezgui, Y., y Beach, T. (2017). Integrating building and urban semantics to empower smart water solutions. *Automation in Construction*, 81, 434-448. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.02.004>
- Jenny, H., Alonso, E. G., Wang, Y., y Minguez, R. (2020). Using artificial intelligence for smart water management systems. Asian Development Bank. <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/614891/artificial-intelligence-smart-water-management-systems.pdf>
- Jha, K., Doshi, A., Patel, P., y Shah, M. (2019). A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2019.05.004>
- Kamienski, C., Soinenen, J. P., Taumberger, M., Dantas, R., Toscano, A., Salmon Cinotti, T., Filev Maia, R., y Torre Neto, A. (2019). Smart water management platform: IoT-based precision irrigation for agriculture. *Sensors*, 19(2), 276. <https://doi.org/10.3390/s19020276>

- Karwot, J., Kaźmierczak, J., Wyczółkowski, R., Paszkowski, W., y Przystalka, P. (2016, June). Smart water in smart city: a case study. En *Proceedings of SGEM 16th International Scientific Conference on EARTH/GEO SCIENCES, book* (Vol. 3, pp. 851-858). <https://doi.org/10.5593/sgem2016B31>
- Krishnan, S. R., Nallakaruppan, M. K., Chengoden, R., Koppu, S., Iyapparaja, M., Sadhasivam, J., y Sethuraman, S. (2022). Smart water resource management using Artificial Intelligence—A review. *Sustainability*, 14(20), 13384. <https://doi.org/10.3390/su142013384>
- Lowe, M., Qin, R., y Mao, X. (2022). A review on machine learning, artificial intelligence, and smart technology in water treatment and monitoring. *Water*, 14(9), 1384. <https://doi.org/10.3390/w14091384>
- Mounce, S. R. (2021). Data science trends and opportunities for smart water utilities. En A. Scozzari, S. Mounce, D. Han, F. Soldovieri, D. Solomatine (Eds.), *ICT for Smart Water Systems: Measurements and Data Science* (pp. 1-26). Springer. https://doi.org/10.1007/698_2020_482
- Mounce, S. R., Pedraza, C., Jackson, T., Linford, P., y Boxall, J. B. (2015). Cloud based machine learning approaches for leakage assessment and management in smart water networks. *Procedia Engineering*, 119, 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.851>
- Nguyen, K. A., Sahin, O., Stewart, R. A., y Zhang, H. (2017, February). Smart technologies in reducing carbon emission: Artificial intelligence and smart water meter. En *Proceedings of the 9th International Conference on Machine Learning and Computing* (pp. 517-522). <https://doi.org/10.1145/3055635.3056566>
- Nickum, J. E., Kuisma, S., Bjornlund, H., y Stephan, R. M. (2020). Smart Water Management: the way to (artificially) intelligent water management, or just another pretty name? *Water International*, 45(6), 515-519. <https://doi.org/10.1080/02508060.2020.1830581>
- Radhakrishnan, V., y Wu, W. (2018, June). IoT technology for smart water system. En *2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS)* (pp. 1491-1496). IEEE. <https://doi.org/10.1109/HPCC/SmartCity/DSS.2018.00246>
- Rahaman, S. A., y Jamil, H. A. (2021). An Efficient Low-Cost Smart Water Monitoring System Based on the Internet of Things and Artificial Intelligence Techniques. En M. Elhoseny, K. Shankar y M. Abdel-Basset (Eds.), *Artificial Intelligence Applications for Smart Societies: Recent Advances* (pp. 33-47). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63068-3_3
- Ray, A., y Goswami, S. (2020, February). IoT and cloud computing based smart water metering system. En *2020 International Conference on Power Electronics y IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC)* (pp. 308-313). IEEE. <https://doi.org/10.1109/PARC49193.2020.236616>
- Saiteja, S., y Ponnappalli, V. S. (2023). A review on smart water management in various domestic areas: an approach for water consumption and leakage perspectives. *International Journal of Critical Infrastructures*, 19(1), 1-16. <https://doi.org/10.1504/IJ-CIS.2023.129063>

- Satiya, N., Varu, V., Gadagkar, A., y Shaha, D. (2017, July). Optimization of water consumption using dynamic quota based smart water management system. En *2017 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/TENCONSpring.2017.8070075>
- Sharma, A., Singh, P. K., Hong, W. C., Dhiman, G., y Slowik, A. (2021). Introduction to the Special Issue on Artificial Intelligence for Smart Cities and Industries. *Scalable Computing: Practice and Experience*, 22(2), 89-91. <https://doi.org/10.12694/scpe.v22i2.1939>
- Singh, M., y Ahmed, S. (2021). IoT based smart water management systems: A systematic review. *Materials Today: Proceedings*, 46, 5211-5218. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.588>
- Sun, A. Y., y Scanlon, B. R. (2019). How can Big Data and machine learning benefit environment and water management: a survey of methods, applications, and future directions. *Environmental Research Letters*, 14(7), 073001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab1b7d>
- Vinod Kumar, T. M., Mohammed Firoz, C., Bimal, P., Harikumar, P. S., y Sankaran, P. (2020). Smart water management for smart Kozhikode metropolitan area. En T. M. Vinod Kumar (Ed.), *Smart Environment for Smart Cities* (241-306). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6822-6_7
- Walker, D., Creaco, E., Vamvakeridou-Lyroudia, L., Farmani, R., Kapelan, Z., y Savić, D. (2015). Forecasting domestic water consumption from smart meter readings using statistical methods and artificial neural networks. *Procedia Engineering*, 119, 1419-1428. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.1002>
- Wu, Z. Y., El-Maghraby, M., y Pathak, S. (2015). Applications of deep learning for smart water networks. *Procedia Engineering*, 119, 479-485. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.870>
- Xiang, X., Li, Q., Khan, S., y Khalaf, O. I. (2021). Urban water resource management for sustainable environment planning using artificial intelligence techniques. *Environmental Impact Assessment Review*, 86, 106515. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106515>
- Yasin, H. M., Zeebaree, S. R., Sadeeq, M. A., Ameen, S. Y., Ibrahim, I. M., Zebari, R. R., Khalil Ibrahim, R., y Sallow, A. B. (2021). IoT and ICT based smart water management, monitoring, and controlling system: A review. *Asian Journal of Research in Computer Science*, 8(2), 42-56. <https://doi.org/10.9734/AJRCOS/2021/v8i230198>
- Zekri, S., Jabeur, N., y Gharrad, H. (2022). Smart water management using intelligent digital twins. *Computing and Informatics*, 41(1), 135-153. https://doi.org/10.31577/CAI_2022_1_135
- Zeng, H., Dhiman, G., Sharma, A., Sharma, A., y Tselykh, A. (2023). An IoT and Blockchain-based approach for the smart water management system in agriculture. *Expert Systems*, 40(4), e12892. <https://doi.org/10.1111/exsy.12892>

5. Plan Operativo el Mejoramiento en la recolección de los Residuos Sólidos Urbanos. Estudio de caso en la Alcaldía Iztapalapa¹

DULCE MARÍA MONROY-BECERRIL *

CHRISTIAN MUÑOZ SÁNCHEZ**

EUGENE HAKIZIMANA ***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.187.05>

Resumen

El capítulo aborda la importancia de la gestión integral de los procesos de la Administración Pública, enfocándose principalmente en el manejo de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), debido a que es una problemática que afecta en distintos aspectos a la sociedad y al medio ambiente y que podrían evitarse con la recolección idónea los residuos si los encargados de cada área recolectora considera un enfoque sustentable. La investigación se llevó a cabo en la Unidad habitacional II Santa Cruz Meyehualco de la alcaldía Iztapalapa como caso específico, porque permitió tener datos controlados en una sola locación que cumplió con la población de estudio. El objetivo principal de la investigación fue diseñar un plan operativo que permita el mejoramiento en la recolección de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en la alcaldía Iztapalapa. Se planteó una metodología con enfoque mixto, el tipo de investigación es hipotético deductivo, alcance de un período de tiempo de 2012 al 2022 en la Unidad habitacional II Santa Cruz Meyehualco de la alcaldía Iztapalapa; el desarrollo de la perspectiva teórica se basó

¹ Derivado del proyecto SIP 20232252: Estrategia para desincentivar en el largo plazo la utilización del transporte de carga alimentado a través de combustibles fósiles a fin de trascender hacia un transporte sustentable.

* Doctora en Administración Pública. Profesora e investigadora de la ESCA-ST, Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0787-5577>

** Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor e investigador de la ESCA-ST, Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8692-4252>

*** Doctor en Ciencias Económicas. Profesor e investigador de la ESCA-ST, Instituto Politécnico Nacional. México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1804-1516>

en la revisión de documentación académica, entrevistas, marcos normativos y reglamentación que da base a la validez del proyecto. El presente capítulo es derivado del proyecto de investigación con registro SIP 20232252 del Instituto Politécnico Nacional.

Palabras clave: *Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), plan operativo, administración pública, marco normativo.*

Introducción

Antecedentes, significado y alcance del estudio

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques, así como los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias. Los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos son un problema que se observa con mayor frecuencia en predios baldíos o lugares con poca afluencia, donde las personas tiran la basura, aunado a una densidad de población alta, que se debe al aumento de la población; estos dos factores sobrepasan la recolección de RSU.

El objetivo principal del capítulo es diseñar un plan operativo que permita el mejoramiento en la recolección de (RSU) en la alcaldía Iztapalapa. Se planteó una metodología con enfoque cualitativo, alcance descriptivo y diseño no experimental. El desarrollo de la perspectiva teórica se basó en la revisión de documentación académica, marcos normativos y reglamentación que da sustento a la propuesta del plan operativo. La investigación se llevó a cabo en la Unidad habitacional II Santa Cruz Meyehualco de la alcaldía Iztapalapa como caso específico, porque permitió tener datos controlados en una sola locación que cumplía con la población de estudio.

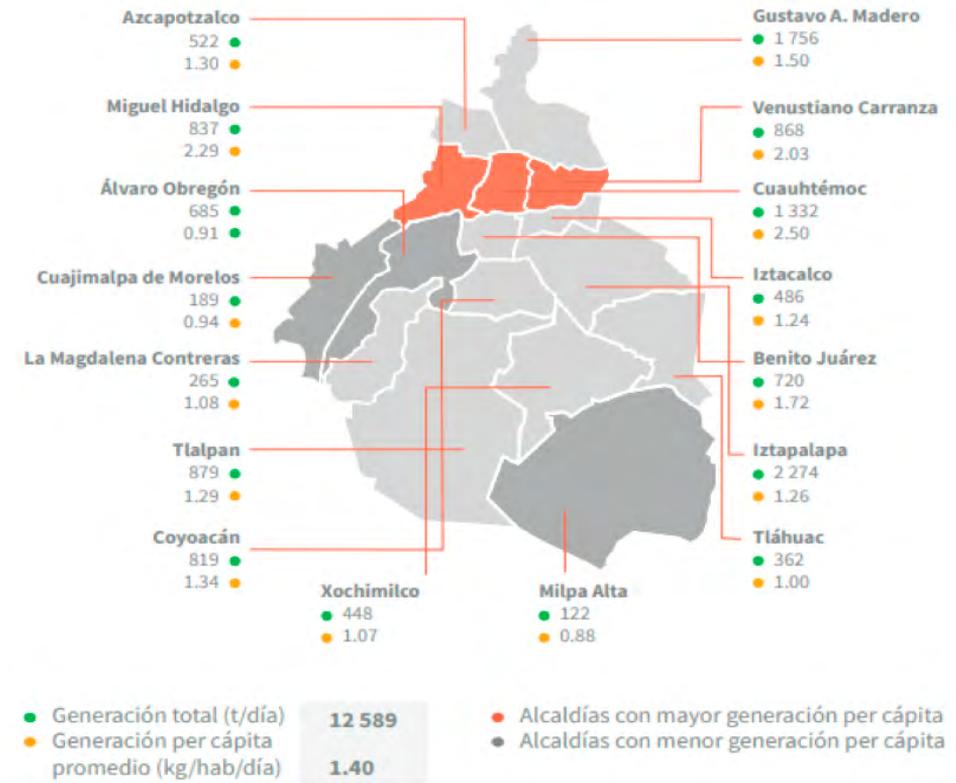
La propuesta del plan operativo para el mejoramiento en la recolección de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) constituye un instrumento técnico que determina las acciones de corto plazo, operaciones y tareas de la alcaldía, en concordancia con principios, normas, conceptos y disposiciones que señala la norma básica del sistema de programación de operaciones y el reglamento específico del sistema, que coadyuvara a eficientizar las actividades de la alcaldía Iztapalapa en cuanto a la recolección de RSU, específicamente en la Unidad habitacional II Santa Cruz Meyehualco, mediante las áreas críticas que se detectaron en el análisis e interpretación de la información obtenida por las entrevistas realizadas.

Desarrollo

Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en la Ciudad de México

La generación de RSU depende de diversos factores como la extensión, la población establecida, la población flotante, el nivel socioeconómico, etc. Las alcaldías que presentaron mayores valores de generación de residuos fueron las alcaldías Iztapalapa, Gustavo A. Madero, así como la alcaldía Cuauhtémoc; esto, en buena medida, asociado a la cantidad de población que ahí reside, así como a la cantidad de servicios que se encuentran en esas alcaldías. Entre estas tres alcaldías se genera el 42.79% de los residuos totales generados en la Ciudad de México. En lo que concierne a la generación per cápita, la Figura 1 permite observar las alcaldías con mayor generación de residuos: la alcaldía Iztapalapa (con una cifra de 2,274 t/día), seguida de la alcaldía Gustavo A. Madero (con un valor de 1 756 t/día) y, en tercer lugar, la alcaldía Cuauhtémoc (con un valor de 1 332 t/día), las cuales llegan a general al día 5 232 toneladas.

Figura 1. Generación total y per cápita en las 16 alcaldías de la Ciudad de México



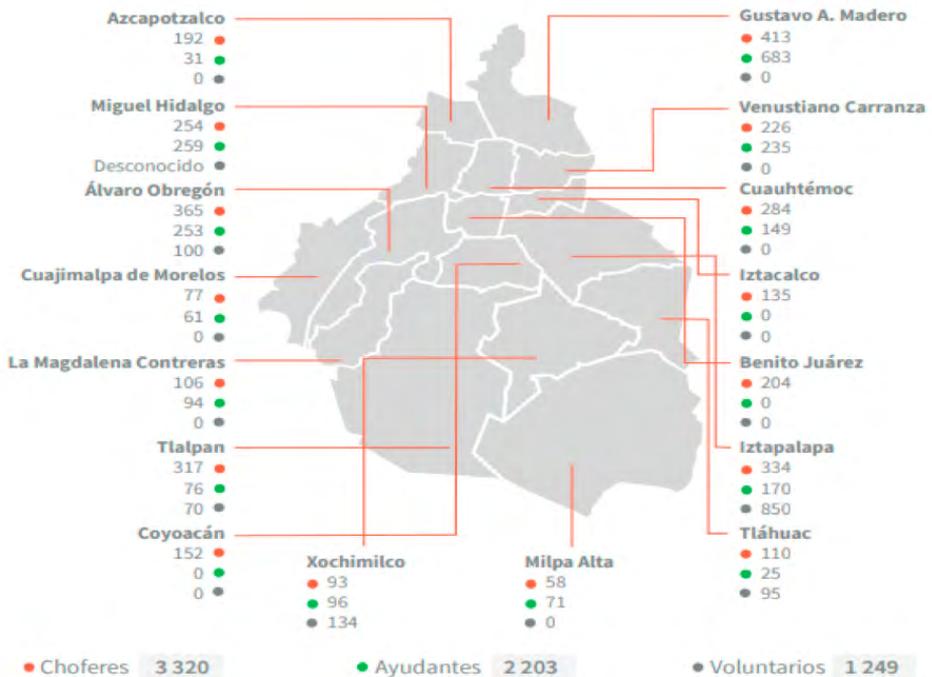
Fuente: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2022.

Las actividades económicas de la Ciudad de México pertenecen predominantemente al sector de los servicios y no al sector industrial, lo cual determina en buena medida el tipo de residuo que se genera. En dicha entidad, los residuos domiciliarios son la fuente que más aporta al total de residuos generados (con un valor de 48.10%). Los otros grandes rubros que aportan porcentajes importantes son el sector servicios y el sector comercial.

Recolección de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en la Ciudad de México.

El término “recolección” se encuentra definido en la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal como: “La acción de recibir los residuos sólidos de sus generadores y trasladarlos a las instalaciones para su transferencia, tratamiento o disposición final”. Para llevar a cabo esta actividad, las alcaldías cuentan con una flotilla de 2,594 vehículos que brindan servicio en 2010 rutas. La mayoría de estas unidades son de modelos comprendidos entre 1992 y 2002 que ocupan Diesel (90% de la flotilla), gasolina (9.06%) y electricidad (0.54%). La figura 2 muestra al personal encargado de recolección en la Ciudad de México.

Figura 2. Distribución del personal encargado de la recolección de RSU en la Ciudad de México



Fuente: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2022.

Metodología

Esta investigación se realizó con la finalidad de ser aplicada, según Sampieri (2014) está orientada a resolver un problema práctico y controlar la situación, aplicando los conocimientos técnicos antes presentados en el documento e implementándolos de forma práctica en un caso de estudio de la zona de la alcaldía Iztapalapa, con la posibilidad de replicarlo para otros lugares con las mismas características o con la suficiente similitud. La investigación se realizó en la Ciudad de México, en la Alcaldía Iztapalapa, la cual cuenta con la mayor cantidad de habitantes en comparación con las demás demarcaciones de la ciudad.

Para recolectar la información necesaria para la elaboración del diagnóstico y la propuesta, se realiza *in situ* un análisis de la generación de residuos sólidos, las cantidades que se producen y el tipo de residuo que se genera dependiendo de la actividad. Esto se logra mediante entrevistas a recolectores individuales (ver Anexo 1).

A continuación, se presentan los resultados derivados de las entrevistas a recolectores individuales.

Tabla 1. *Entrevista de recolección de rsu en la alcaldía Iztapalapa*

<i>Pregunta</i>	<i>Respuestas</i>	<i>Resultados (%)</i>
1. ¿Edad de los recolectores de rsu?	Menos de 35 años	0%
	De 36-45 años	33%
	De 46-55 años	67%
	Total	100%
2. ¿Ganancia mensual en la recolección de rsu?	Menos de \$3,000	67%
	\$3,001 a \$5,000	22%
	\$5,001 a \$6,000	11%
	Total	100%
3. ¿Años de antigüedad en la recolección de rsu?	Menos de 2 años	67%
	2 a 7 años	22%
	7 a 12 años	11%
	Total	100%
4. ¿El tiempo en la recolección de rsu es adecuado?	No	89%

	Sí	11%%
	Total	100%
5. ¿Alcanza a realizar toda la recolección de la zona?	No	89%
	Sí	11%%
	Total	100%
6. ¿Deja áreas sin recolectar?	No	11%
	Sí	89%
	Total	100%

Fuente: Elaboración propia.

Los datos recolectados en la entrevista se muestran en la tabla 1. Con relación a la pregunta 1, se muestra que el 67% de los recolectores se encuentra en el rango de edad de entre los 46 y los 55 años, considerados adultos mayores, quienes realizan este tipo de actividad. Por lo tanto, el 33% tiene un rango de edad adulta de los 36 a los 45 años, quienes buscan esta actividad para complementar su ingreso.

En la pregunta 2 se observa que el 67% gana mensualmente menos de \$3 000 pesos, por lo que los entrevistados mencionan que completan el salario con la recolección y también realizando otras actividades. Mientras que el 22% gana entre \$3 001 y \$5 000, cantidad con la que pueden vivir al día, el 11% gana de \$5 001 a \$6 000 pesos, por la cantidad de residuos que recolectan y pueden vender, por lo que también ellos, aparte de recolectar, tienen otros trabajos para completar su salario.

En la pregunta 3 se observa que el 67% de los trabajadores ha estado laborando como recolector de 2 a 7 años, por lo que refleja que son estables en esta actividad por el ingreso que pueden llegar a obtener. El 22% ha trabajado menos de 2 años, porque se quedaron sin trabajo y es la única actividad que pueden desempeñar de inmediato para obtener algún recurso económico. Sólo el 11% de los recolectores ha estado laborando de 7 a 12 años, por las facilidades de ser su propio jefe.

En la pregunta 4 se observa que el 89% de los recolectores dicen que el tiempo de recolección no es suficiente, ya que se tienen horarios de recolección muy ajustados para cubrir las necesidades de recolección de la zona.

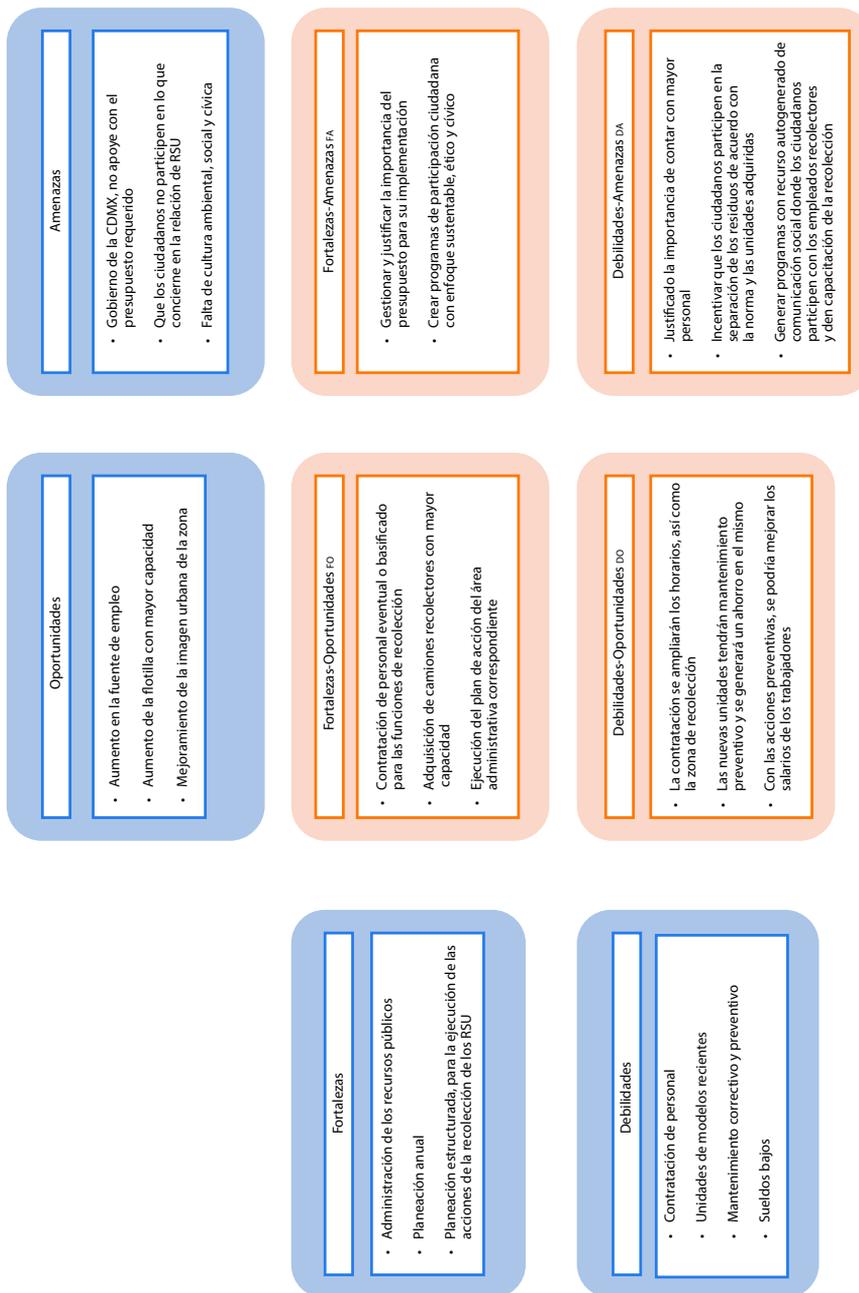
Sólo el 11% de los recolectores piensan que el tiempo es suficiente para abarcar la zona y entregar en tiempo al camión recolector en el punto de encuentro.

Por lo consiguiente, la pregunta 5 nos muestra que igualmente el 89% de los recolectores no alcanza a realizar la recolección de la zona, por eso se observa que se integran recolectores individuales. Sólo el 11% mencionó que se alcanza a realizar toda la recolección de la zona, por lo que se puede observar que tanto las preguntas 4 y 5 tienen relación positiva.

Con los mismos resultados, la pregunta 6 señala que el 89% deja áreas sin recolectar, por el tiempo que tienen en recolectar y acudir con el camión recolector; algunos mencionan que también estos recolectores individuales; llegan a dejar sus residuos en los baldíos, al no alcanzar al camión y que deben deshacerse de los mismos. Por tanto, el 11% de los entrevistados no deja áreas sin recolectar, lo cual es bueno pero no suficiente.

Análisis Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA)

Figura 2. Análisis FODA



Fuente: Elaboración propia.

En análisis que se realizó del FODA, determina que hay oportunidad de mejora en las acciones operativas donde se lleva a cabo las actividades esenciales y directas en la zona de Santa Cruz Meyehualco, específicamente en la Unidad habitacional II respecto a la recolección de RSU.

Con el análisis se determina que el plan de acción de la alcaldía debe seguir el Plan de Gobierno de la CDMX 2019-2024, porque en él se determinan los lineamientos a seguir de las áreas administrativas de los órganos políticos para su aplicación y ejecución.

Se puede determinar mediante dicho análisis que la contratación de personal es esencial para el desarrollo y funcionamiento de la recolección de RSU en dicha zona, como la actualización de los camiones recolectores con separación y mayor capacidad, lo cual dará a la zona una imagen urbana y calidad de vida digna a los habitantes de esa localidad.

Es importante la participación ciudadana activa en los programas que difunda la alcaldía, con la finalidad de dar a conocer la importancia de la sustentabilidad y los beneficios de ésta para su comunidad, así como la parte de concientización cívica y ética para que estos puedan minimizar los tiraderos clandestinos de la zona.

Fundamento del marco jurídico de la propuesta del plan operativo para el mejoramiento de los RSU

Artículo 4 y 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos:

- Garantiza el derecho de toda persona al medio ambiente adecuado. Corresponde a los municipios la responsabilidad de prestar el servicio de limpia con el concurso del Estado.

Ley General de Salud:

- Establece las disposiciones relacionadas al servicio público de limpia en donde promueve y apoya el saneamiento básico y determinar normas y medidas tendientes a la protección de la salud humana para aumentar su calidad de vida.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente:

- Establece que queda sujeto a la autorización de los Municipios, conforme a las leyes locales en la materia y a las normas oficiales mexicanas que resulten aplicables, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reúso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales (Residuos Sólidos Urbanos).

Propuesta del plan operativo

La propuesta del plan operativo para el mejoramiento en la recolección de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) constituye un instrumento técnico que determina las acciones de corto plazo, operaciones y tareas de la alcaldía, en concordancia con principios, normas, conceptos y disposiciones que señala la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (2023), que coadyuvara a eficientizar las actividades de la alcaldía Iztapalapa en cuanto a la recolección de RSU, específicamente en la Unidad habitacional II Santa Cruz Meyehualco. A continuación se presenta la propuesta para el presente capítulo:

#Actividad	Resultados esperados (actividades)	Responsable	Indicador de logro
1	<p>Implementar contenedores de RSU en zonas estratégicas de la localidad de Santa Cruz Meyehualco, se propone instalar contenedores con colores predeterminados para cada tipo de residuo y así mejorar las actividades de recolección y reciclaje:</p> <p>Azul: Este contenedor corresponde para almacenar cartón y papel, como cajas, envases, periódicos, documentos, folletos, etc. Amarillo: Contenedor destinado a material hecho a base de plástico: botellas, envases, bolsas, etc.</p> <p>Rojo: Contenedor especial destinado a residuos tóxicos y peligrosos.</p> <p>Negro: Contenedor destinado a residuos orgánicos aprovechables como restos de comida.</p> <p>Verde: Contenedor destinado a basura doméstica y residuos que no encajan en las otras categorías.</p>	Jefatura de Unidad Departamental de Recolección de Residuos Sólidos Zona A	Mejorar las actividades de recolección y reciclaje de RSU en Santa Cruz Meyehualco

2	Adquisición de camiones recolectores con mayor capacidad en la alcaldía	Jefatura de Unidad Departamental de Recolección de Residuos Sólidos Zona A	Mejorar las funciones de recolección y separación de residuos
3	Implementar en los camiones compartimentos de separación de acuerdo con la clasificación de colores: azul, amarillo, rojo, verde y negro (señalados en la Actividad 1), se estima que con la separación de RSU se van a obtener ganancias para la adquisición de contenedores y caminos de recolección de RSU.	Jefatura de Unidad Departamental de Recolección de Residuos Sólidos Zona A	Mejorar las actividades de recolección y reciclaje de RSU en Santa Cruz Meyehualco
4	Contratación de personal eventual o básico para las funciones de recolección en Santa Cruz Meyehualco	Dirección General de Servicios Urbanos	Mejorar las funciones de recolección y separación de residuos
5	Incrementar el registro y número de empresas dedicadas al reciclaje de RSU en la alcaldía.	Dirección de Servicios e Imagen Urbana	Aumento de empresas dedicadas al reciclaje en la alcaldía
6	Incrementar el registro de planes de manejo de RSU en los mercados públicos en Santa Cruz Meyehualco	Jefatura de Unidad Departamental de Recolección de Residuos Sólidos Zona A	50% de planes de manejo y separación de residuos en la alcaldía.
7	Implementar un diagnóstico de generación y composición de residuos que permita identificar la cantidad y tipos de residuos producidos en Santa Cruz Meyehualco	Jefatura de Unidad Departamental de Recolección de Residuos Sólidos Zona A	Realizar un diagnóstico de residuos en la Alcaldía
8	Dirigir campañas de separación de RSU a los habitantes en Santa Cruz Meyehualco, incentivando la separación de residuos a través de la entrega de plantas de ornato, macetas y semillas.	Jefatura de Unidad Departamental de Recolección de Residuos Sólidos Zona A	Elaboración de campañas de separación de RSU a los habitantes de la alcaldía.
9	Desarrollar campañas de comunicación sobre el impacto de la generación de RSU y su impacto en la salud y el medio ambiente en escuelas de formación básica (primaria y secundaria) en la Alcaldía	Dirección de Servicios e Imagen Urbana	Elaboración de campañas de comunicación sobre el impacto de la generación de RSU para escuelas de formación básica
10	Desarrollar campañas a los habitantes de la alcaldía para garantizar el consumo de productos con empaques y envases 100% reciclables	Dirección General de Servicios Urbanos	Elaboración de campañas de comunicación para el consumo de productos con empaques y envases 100% reciclables
11	Capacitación del personal dedicado a las funciones de recolección para incrementar el reciclaje en Santa Cruz Meyehualco	Jefatura de Unidad Departamental de Recolección de Residuos Sólidos Zona A	Desarrollo de un plan de capacitación del personal dedicado a las funciones de recolección
12	Desarrollar un instrumento de planeación de manejo de los residuos en la alcaldía	Dirección General de Servicios Urbanos	Elaboración de un programa de manejo de residuos de competencia local
13	Generar un instrumento que reporte la cantidad de material producido, acopiado y reciclado en la alcaldía	Dirección General de Servicios Urbanos	Elaboración de un instrumento para reportar el material producido, acopiado y reciclado en la alcaldía

14	Desarrollar campañas sobre buenas prácticas para la disposición y reciclaje de residuos en Santa Cruz Meyehualco	Jefatura de Unidad Departamental de Recolección de Residuos Sólidos Zona A	Elaboración de una campaña de buenas prácticas para disposición y reciclaje de residuos
15	Definir y establecer puntos estratégicos de acopio y recolección de residuos con fines de reciclaje en la alcaldía	Dirección de Servicios e Imagen Urbana	Elaboración de un plan para identificar puntos estratégicos de acopio y recolección de residuos con fines de reciclaje
16	Implementar un programa que fomente el tratamiento de residuos orgánicos a través de la elaboración de composta en la alcaldía	Dirección General de Servicios Urbanos	Desarrollar un programa para el tratamiento de residuos orgánicos a través de la elaboración de composta
17	Equipar y garantizar la eficiencia de plantas de composta en la alcaldía	Dirección General de Servicios Urbanos	Modernizar dos plantas de composta en la alcaldía operando con las mejores prácticas
18	Desarrollar un plan que garantice la disminución en la existencia de tiraderos clandestinos en Santa Cruz Meyehualco	Jefatura de Unidad Departamental de Recolección de Residuos Sólidos Zona A	30% en la disminución/ erradicación de tiraderos clandestinos de la alcaldía
19	Desarrollar una campaña a los ciudadanos de la alcaldía a fin de prevenir la proliferación de tiraderos clandestinos en Santa Cruz Meyehualco	Jefatura de Unidad Departamental de Recolección de Residuos Sólidos Zona A	Elaboración acciones de comunicación para prevenir la formación de nuevos tiraderos clandestinos de la alcaldía
20	Instrumentar en la legislación de la alcaldía, aplicar sanciones y acciones correctivas hacia los ciudadanos que fomenten la formación de tiraderos clandestinos	Dirección General de Servicios Urbanos	Elaboración de propuestas de legislación para aplicar correctivas hacia los ciudadanos de la alcaldía que fomenten la formación de tiraderos clandestinos
21	Implementar un sitio web que contenga información actualizada sobre el manejo de residuos y el impacto económico, en la salud y el medio ambiente en la alcaldía	Dirección General de Servicios Urbanos	Desarrollo de un sitio web sobre el manejo de residuos y el impacto económico, en la salud y el medio ambiente en la alcaldía

Conclusiones

Este capítulo aborda una problemática de suma importancia como lo es el manejo de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), ya que es un problema que afecta de diversas formas a la sociedad y el medio ambiente que pueden evitarse o corregirse con una adecuada planeación en la gestión de RSU.

El objetivo principal de la investigación fue diseñar un plan operativo que permita el mejoramiento en la recolección de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en la Alcaldía Iztapalapa. Se planteó una metodología con en-

foque cualitativo, alcance descriptivo y diseño no experimental. Y el desarrollo de la perspectiva teórica se basó en la revisión de documentación académica, marcos normativos y reglamentación que da sustento a la propuesta del plan operativo.

La propuesta del plan operativo para el mejoramiento en la recolección de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) constituye un instrumento técnico que determina las acciones de corto plazo, operaciones y tareas de la alcaldía, en concordancia con principios, normas, conceptos y disposiciones que señala la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (2023), que coadyuvara a eficientizar las actividades de la alcaldía Iztapalapa en cuanto a la recolección de RSU.

Para realizar la propuesta se tomó en consideración la estructura organizacional de la alcaldía Iztapalapa, con el fin de identificar los actores involucrados en la implementación del plan, así como el fundamento del marco jurídico de la propuesta del plan operativo para el mejoramiento de los RSU. Para complementar la propuesta del plan operativo se realizó un análisis FODA, que es una herramienta de planeación estratégica y toma de decisiones que fortalece el Plan Operativo para el Mejoramiento en la Recolección de Residuos Sólidos Urbanos (RSU).

Bibliografía

- Abell, Derek. (1995). *Estrategias Duales*, CECSA. México.
- Abelino-Torres, G., Quispe-Limaylla, A. G., Pérez-Hernández, L. M., Leos-Rodríguez, J. A., Carranza-Díaz, O., y Flores Sánchez, D. (2019). Factores asociados con la participación de las familias en la separación de residuos sólidos urbanos en Texcoco, Estado de México. *Acta Universitaria* 29, e2087. doi. <http://doi.org/10.15174.au.2019.2087>
- Aguilar-Vera R, R. A., Cram Heydrich S., Sánchez-Salazar M. T., Murillo López S. y Araiza Aguilar J. A. (2019). La valorización de los residuos sólidos urbanos en el Estado de México, una visión geográfica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35: 693–704.
- Alam, P., y Ahmade, K. (2013). Impact of Solid Waste on Health and the Environment. *International Journal of Sustainable Development and Green Economics*, 2(1), 165–168.
- Alberola, Carlos M., Gallardo Izquierdo A., Barreda Albert E., y Colomer Mendoza F. J. (2021). Estudio de alternativas para la recogida de residuos sólidos urbanos en una ciudad con escasez de recursos. *Proceedings from the International Congress on Project Management and Engineering*, pp. 1176 – 1185.

- Alcocer Quinteros, P. B., Cevallos Muñoz, O., y Knudsen González, J. (2019). Mejora-
miento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en el cantón de Que-
vedo, Ecuador. *Universidad y Sociedad*, 11(5), 362-367. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>
- American Psychological Association. (1994). Publication manual for the American Psy-
chological Association. Washington, DC.
- Andrade, M. A. (2004). Material de consulta para seminario de gerencia I. México: Insti-
tuto Politécnico Nacional-Escuela Superior de Comercio y Administración. Santo
Tomás., Estudios en prensa.
- Aktouf, O., Suárez, T. (2012). *De la estrategia a la planificación operacional*. En *Adminis-
tración, Tradición, revisión y renovación* (66-83). Pearson Educación.
- Álvarez García, I. (2002). *Planificación y desarrollo de proyectos sociales y educativos*.
Limusa, México.
- Arteaga, C., Silva J., y Yarasca Aybar C. (2023). Solid waste management and urban en-
vironmental quality of public space in Chiclayo, Peru. *City and Environment Interac-
tions*, 21 (2023).
- Banco Interamericano de desarrollo (BID) y Centro Interamericano de Administracio-
nes Tributarias (CIAT) (1999- 2002). Planeación Estratégica. Prototipo 2.
- Balanko-Dickson, G. (2008). *Cómo preparar un plan de negocios exitoso* (10ª ed.). Mc
Graw-Hill.
- Bernache Pérez, G. (2019). Evaluación de los sistemas de manejo de residuos en cua-
tro municipios de Jalisco, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 35 (Residuos sólidos en
México) 19-27.
- Bueno, R., Ramos, M., y Berrelleza, C. (2018). *Elementos básicos de la administración*.
UAS/DGEP.
- Calabro, P. (2009). Greenhouse gases emission from municipal waste management:
The role of separate collection. *Waste Management*, 29(7), 2178–2187. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2009.02.011>
- Carvajal Romero, E., Teijeiro-Álvarez, M., García-Álvarez, M. T. y Vite Cevallos, H., (2022).
Modelo de gestión del manejo de residuos sólidos urbanos en la provincia de El
Oro, Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(6), 314-321.
- Carvajal Romero, H., Teijeiro Álvarez, M., y García Álvarez, M. T. (2022). Análisis de la
gestión de los residuos sólidos urbanos en Europa. *Revista Universidad y Sociedad*,
14(1), 402-415.
- Cervantes, J. y Palacios, L. (2012). El trabajo en la pepena informal en México: nuevas
realidades, nuevas desigualdades. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 27: 95–117.
- Chiavenato, I. (2001). *Administración. Teoría, proceso y práctica* (3ª ed.). Mc Graw-Hill.
- Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. (2023, 03 de abril). [https://paot.org.mx/
centro/leyes/df/pdf/2023/LEY_RESIDUOS_SÓLIDOS_03_04_2023.pdf](https://paot.org.mx/centro/leyes/df/pdf/2023/LEY_RESIDUOS_SÓLIDOS_03_04_2023.pdf)
- Miyazaki, M., Oxilia Dávalos V. E. y Gustavo Leiva M. E. (2022). Manejo de residuos sóli-
dos urbanos: una estrategia de educación ambiental en Paraguay. *Reportes Científi-
cos de la FACEN*, 13(1): 999-99.

- Ouda, O. K. M., Raza, S. A., Nizami, A. S., Rehan, M., Al-Waked, R., y Korres, N. E. (2016). Waste to energy potential: A case study of Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 328–340. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.04.005>
- Pin, B. V. R., Barros, R. M., Silva Lora, E. E., y dos Santos, I. F. S. (2018). Waste management studies in a Brazilian microregion: GHG emissions balance and LFG energy project economic feasibility analysis. *Energy Strategy Reviews*, 19, 31–43. <https://doi.org/10.1016/J.ESR.2017.11.002>
- Sánchez-Muñoz, M., Cruz-Cerón, J., G. y Maldonado-Espinel, P., C. (2019). Gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina: un análisis desde la generación. *Revista Finanzas y Política Económica*, 11(2), 321-336. <http://dx.doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2019.11.2.6>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2022). Porcentaje de cobertura del servicio de recolección en diferentes regiones del país. gob.mx.
- Severiche Sierra, C. et al. (2021). Condiciones inseguras de las políticas públicas ambientales en cooperativas de recicladores de residuos sólidos urbanos. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 40(8).
- Souza, M. (2005). El estado del arte. Recuperado el 09 de septiembre del 2023. http://www.perio.unlp.edu.ar/seminario/nivel2/nivel3/el%20estado%20del%20arte_silvina_souza.pdf
- Tagle Zamora D. y Carrillo González G. (2022). Gestión de residuos sólidos en León, Guanajuato: indicios de economía circular y de los objetivos del desarrollo sostenible. *Región y Sociedad*, 34, 2022, e1583.
- Thomas S. Bateman y Scout A. Snell (2001). *Administración: una ventaja competitiva*. Irving –McGraw Hill. México
- Toledo Cervantes J. y Quintero Castellanos C. (2021). Gestión de residuos sólidos urbanos en México: Un caso de estudio desde la perspectiva organizacional. *Revista de Administração de Empresas*, 62(3), 1-22.
- Toro Jaramillo, I. D. y Parra Ramírez, R. D. (2010). *Fundamentos epistemológicos de la investigación y la metodología de la investigación. Cualitativa/cuantitativa*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Vidarte Rodríguez A. y Colmenares López M. (2020). Basura Cero. Gestión de residuos sólidos urbanos en México. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Sociales y Humanísticas*, 9(18).
- Viteri Moya J, Jácome Villacres MB, Medina León A. (2013). Modelo conceptual para la planificación estratégica con la incorporación de la responsabilidad social universitaria. *Revista Ingeniería Industrial*, 34(1): 77-86.
- Oliviera, A., Klafke R. y Chaerki S. F. (2022). El desafío de la gestión de residuos sólidos urbanos en Brasil. *Economía, Sociedad y Territorio*, 22(68), 177-206.
- Yildiz S, Yaman C, Demir G, Kurtulus Ozcan H., Coban A., Eser Okten H., Sezer K., y Goren S. (2013). Characterization of municipal solid waste in Istanbul, Turkey. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 32: 734–739.

Anexo 1

Entrevista a recolectores de Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Plan operativo el mejoramiento en la recolección de los Residuos Sólidos Urbanos. Estudio de caso en la alcaldía Iztapalapa

Instrucciones: Se pide de la manera más atenta marcar con una X la opción de respuesta que según corresponda.

1. Edad de los recolectores de RSU

Menos de 35 años
De 36-45 años
De 46-55 años

2. Ganancia mensual en la recolección de RSU

Menos de \$3 000
\$3 001 a \$5 000
\$5 001 a \$6 000

3. Años de antigüedad en la recolección de RSU

Menos de 2 años
2 a 7 años
7 a 12 años

4. ¿El tiempo en la recolección de RSU es adecuado?

No
Sí

5. ¿Alcanza a realizar toda la recolección de la zona?

No
Sí

6. ¿Deja áreas sin recolectar RSU?

No
Sí

6. La gestión de las políticas públicas en el suministro de agua potable en México¹

ROBERTO ROSALES VIVAR *

JORGE ALEJANDRO SILVA RODRÍGUEZ DE SAN MIGUEL **

LUCIO BARRUETA DURAN ***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.187.06>

Resumen

El agua es un elemento fundamental en el planeta para darle vida a la humanidad, es el remedio para combatir diversos males ocasionados por la raza humana: contaminación, crecimiento demográfico, guerras, cambio climático, epidemias, desarrollo económico y actividades industriales. En el siglo XXI, particularmente en México, se deben considerar las afectaciones referidas para gestionar políticas públicas que eviten más problemas como fugas de agua, contaminación del agua, desperdicio de agua por falta de mantenimiento en la infraestructura hidráulica, inadecuada cultura para el uso y cuidado del agua, etc. El presente documento tuvo como objetivo analizar la gestión en las políticas públicas en el suministro de agua potable en México, como mecanismo para la sobrevivencia de las generaciones futuras. La investigación cualitativa seleccionó y recopiló información en revistas electrónicas, libros y periódicos. Los resultados muestran que las

¹ Derivado del proyecto sip 20230705: Consumo social responsable de agua embotellada en México ante una economía circular.

* Maestro en Administración de Empresas para la Sustentabilidad. Estudiante de Doctorado en Ciencias Administrativas, Escuela Superior de Comercio y Administración Santo Tomas, ESCA-ST, Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1196-4844>

** Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor de la ESCA-ST, Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0961-4696>

*** Doctor en Políticas Públicas. Profesor de la ESCA-ST, Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7379-222X>

políticas públicas deben estar bien analizadas, fundamentadas y actualizadas para la buena gestión del agua que repercuta en su ahorro y extensión, ante las crecientes demandas del sector social del país. Finalmente, se sugiere seguir profundizando en el tema en futuros trabajos, de forma puntual, a nivel estatal y local.

Palabras clave: *Políticas públicas, gestión del agua, suministro del agua, importancia del agua.*

Introducción

La gestión de las políticas públicas en el suministro del agua es de enorme importancia en las últimas décadas. En los años ochenta la intención se centró en los esfuerzos de los países para lograr objetivos del decenio internacional del agua potable y del saneamiento ambiental (1981-1990); y más tarde en la década de los noventa, cuando se analizaron las experiencias regionales de las reformas sectoriales, con la finalidad de diseñar políticas más efectivas, equitativas y adaptadas a las necesidades específicas de cada región, con la finalidad de que se logre una gestión sostenible y justa del recurso hídrico (Zamora, 2019).

Asimismo, en el siglo XXI hay una fuerte coincidencia en reconocer que hay una crisis ambiental, iniciando desde los años setenta del siglo pasado, donde comenzaban a emitirse los primeros signos de alerta sobre implicaciones ecológicas que tiene el crecimiento demográfico, el cambio climático originado por el mismo humano. Actualmente la crisis sanitaria ocasionada por el COVID-19, crea una situación preocupante, la cual requieren una atención coordinada (Zamora, 2019). La crisis ambiental debe tener atención especial en la gestión del agua, ya que la cantidad destinada para el consumo humano en todo el planeta es muy reducida. Con esta descripción se da una idea de la poca disponibilidad de agua para su manejo en todo el planeta, asimismo cada país debe tener la responsabilidad del cuidado y manejo del agua, por medio de la creación de políticas públicas desarrolladas en programas y leyes, desde su disponibilidad hasta su suministro, de forma responsable.

En México, la Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2020) sostiene que el agua es un recurso indispensable para la sociedad, desde su consumo personal hasta las actividades cotidianas, por lo que derivado de la contingencia del SARS-COV-2, el uso de este líquido se volvió el principal medio para combatir la propagación del virus. Ante esta situación, se vuelve relevante la cobertura de agua potable en el país, dado que es de 80%, pero sólo 73% recibe diariamente los servicios a nivel nacional. Al respecto, Enciso (2021) reporta que cerca de 41 millones de personas en México carecen de agua diariamente y 8.5 millones no tienen conexión a redes de agua potable.

Adicionalmente, se carece de infraestructura suficiente con fines de tratamiento del agua residual para reusarla. De igual manera hay falta de políticas públicas, en coordinación con las dependencias especializadas, para el manejo de bosques que permita aumentar la captación y filtración de agua en los acuíferos. Asimismo, faltan políticas públicas con una adecuada gestión que permitan llegar a hacer sustentables, que incluyan el uso de agua residual tratada y eviten la contaminación de los acuíferos (Nacional, 2020).

En México existen problemas de cantidad, calidad, abastecimiento, cultura y una adecuada gestión del agua de manera sustentable, ya que existe mucha contaminación de agua y desigualdad en su distribución que está afectando a poblaciones vulnerables y afectarán a las generaciones futuras (Zamora, 2019). Derivado de lo anterior, es fundamental mencionar que han sido insuficientes las medidas aplicadas como política pública para regular el suministro del agua.

Patel (2021) menciona que otro problema del gobierno de México es la escasez de agua en las presas, pozos, ríos, lagos. Si bien el consumo de agua es inevitable, las medidas de ahorro son escasas y repercuten factores como el cambio climático y la pandemia. En consecuencia, hay niveles bajos de capacidad en los cuerpos de agua, con fines potables, de cultivo y la producción industrial. Incluso, existen conflictos en algunas comunidades debido al acaparamiento de agua por las industrias.

Señalando la hipótesis central de la investigación en el suministro del agua potable como el acceso, infraestructura, calidad y su uso sostenible del agua potable en México, es importante mencionar que existe ausencia participación de la ciudadana y de los expertos en el tema en cuanto a la formulación de las políticas públicas.

El objetivo de esta investigación es analizar los diferentes temas relacionados a la gestión de las políticas públicas en el suministro de agua potable en México. En 1989 se crearon las políticas hídricas en México con la fundación de la Comisión Nacional del Agua (Conagua). La pregunta queda expuesta: ¿esta acción ayudó a recuperar la autonomía del sector hídrico en el sistema mexicano? Zamora (2019) hace mención que, desde su publicación hasta la fecha, la Ley de Aguas Nacionales ha tenido ocho decretos modificados: el primero en abril del 2004 durante los años del 2000 al 2006 y la última vez en enero del 2020 bajo el gobierno actual. En ese mismo contexto, es necesario resaltar que este recurso hídrico es clave para la sobrevivencia de la vida, por ello se analizaran las políticas públicas en el manejo del agua en México que se han implementado.

Así, para los fines de la presente investigación, existen razones que justifican la importancia del suministro de agua en México. Esto implica una investigación de corresponsabilidad, con la participación en conjunto de los gobiernos involucrados y la ciudadanía, con el fin de superar toda clase de obstáculos y conseguir el cumplimiento de la meta. Si no se toma con seriedad el suministro del agua, se puede generar un estrés hídrico continuo y, por ende, desequilibrios económicos que, en algún momento dado, no se lograrán superar, por ello es importante atacar las carencias que se han y se van presentado en la formulación de las políticas públicas, para conseguir un suministro seguro y limpio por unos años más, que calculan organizaciones nacionales e internacionales. Es preciso atacar problemas administrativos, operativos y de logística, asimismo los programas y leyes deben ser formulados con la realidad del país y de cada sector que lo integra. Sumado a esto, existe una ley que no concuerda con la actualidad y debe ser decretada nuevamente, por lo tanto la investigación tiene como aporte ofrecer el análisis de las deficiencias en la gestión de las políticas públicas en el suministro del agua en México y, por ende, elevar el grado de satisfacción a los usuarios. La importancia de aportar información relevante, sumado a investigaciones realizadas, es lograr objetivos año tras año y alcanzar avances en este tema y, por ende, se consigan las metas trazadas en cuestión del suministro del agua.

Esta investigación cualitativa seleccionó y recopiló información para la indagación del agua mediante las publicaciones indizadas en revistas elec-

trónicas, libros, periódicos, base de datos de *Google*, *Redalyc*, *Scopus* y en la *Web of Science*.

Se analizaron diferentes temas vinculados con la gestión de las políticas públicas en el suministro del agua potable, en los que no se encontraron estudios que comprueben la capacidad indiscutible para el buen manejo administrativo, logístico y operativo del agua potable. Asimismo, una interacción entre sociedad, expertos en materia y los encargados de formular las políticas públicas. Se analizó que la formulación de las políticas públicas es necesaria, al grado de concebir al agua como un recurso valioso para la humanidad, el cual provocará contrastes sociales y territoriales a nivel nacional si no se toma con la seriedad que merece. Las políticas públicas deben estar bien analizadas, fundamentadas y actualizadas para la buena gestión del agua, que repercute en su ahorro y extensión, ante las crecientes demandas del sector social del país. Adicional a esto, promulgar leyes adecuadas a la condición real de cada estado que conforma el país para que se logre avanzar en los problemas sociales que se presentan año tras año en cuestión hídrica.

Siguiendo un patrón metodológico para abordar el tema, se analizó información necesaria de la problemática que existe en la gestión de las políticas públicas en el suministro de agua y de las leyes que están vigentes en México en beneficio de la sociedad. Se describen conceptos necesarios para comprender el análisis del tema. Se explica el problema público identificado, así como la hipótesis a seguir a lo largo de esta investigación. De esta forma se demuestra la realidad bajo este modelo conceptual, la literatura necesaria para una interpretación real del problema y llegar al objetivo planteado de las carencias que existen en la gestión de las políticas públicas en el suministro del agua en México.

La gestión de las políticas públicas del agua en México

Según Fuerte (2019), la función de la política pública del agua es de materia exclusiva de los funcionarios públicos. Desde el congreso de la unión hasta el poder ejecutivo deben llevar en conjunto la formulación y acción de leyes sobre el uso y aprovechamiento del agua, ya que este vital líquido es esencial

para la sociedad y garantiza el acceso equitativo, sostenible y seguro. Además, Armenta (2020) menciona que todas las leyes deben ser temas de debates para tener un mejor servicio y consumo. Para que se lleve a cabo una gestión de política pública adecuada se debe implicar aspectos políticos, económicos, administrativos, culturales etc., teniendo diferentes visiones multidisciplinarias para tener un análisis amplio y con el menor margen de error en su formulación.

La gestión de las políticas públicas tiene áreas de oportunidad para mejorar en el suministro del agua potable hacia la sociedad, como lo menciona la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y la Ley de Aguas Nacionales. Asimismo, considerando las diferentes leyes que existen surge la siguiente pregunta, ¿las leyes que regulan el suministro del agua son acordes con las necesidades que tiene la sociedad? (Menchaca, 2022).

Fuerte (2019) menciona que el enfoque clave para promover la sostenibilidad hídrica debe ser exclusiva, hoy en día, de políticas eficientes enfocadas desde el almacenamiento del agua hasta el uso mismo. México cuenta con 2,200 municipios en sus 32 estados, todos regidos bajo las mismas leyes, pero diferentes en sus extensiones territoriales, en su forma económica, cultural y política.

Teniendo en cuenta lo que menciona Armenta (2020), para tener un buen funcionamiento en el suministro del agua potable no debe haber deterioros internos en áreas administrativas ni en áreas operativas, como en la Comisión Nacional de Agua y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, estos organismos han decaído lentamente, su personal, la formación y certificación de competencia de profesionistas y técnicos, tomando en cuenta que las personas que integran el sector no corresponden a las actividades que realizan. Este sería el primer paso, ajustar la parte administrativa, ya que las áreas administrativas son parte directa para un buen funcionamiento operativo en el suministro del agua.

El Programa Nacional Hídrico del (2018) plantea que hay debilidades jurídicas, institucionales y administrativas, aunadas a las restricciones financieras de contratación y ampliación de estructuras, han generado un conjunto de problemas que afectan al sector, como la capacitación insuficiente o que no responde a las necesidades reales del sector, con una carencia de políticas para la renovación de cuadros técnicos. Citado lo anterior,

describe que hay problemas en la administración interna de los organismos que tienen facultades en la organización de la distribución y el consumo del agua, por lo que se formula la siguiente pregunta: ¿Los organismos operadores de los servicios de agua potable no tienen la capacidad, ni facultades para plantear la gestión política del agua, ni la distribución adecuada del dicho líquido hídrico? Cabe mencionar que las instituciones responsables de la gestión del agua, deben contar con personal capacitado y estar a la orden de solucionar problemas. De acuerdo con Merino (2023), la gestión en los municipios es muy corta para plantear políticas estables y continuas para mejorar en el ámbito de la gestión del agua. Es importante que las políticas que plantea cada administración sean continuas para dar seguimiento a los problemas que tanto aqueja a la población. También es importantísimo difundir con herramientas didácticas la noción del agua, como el uso responsable, el cuidado del agua con responsabilidad, denunciar donde haya desperdicio de agua, asimismo realizar supervisiones en los hogares para corroborar que no hay desperdicios de agua continuos por malas tuberías en los tinacos, cisternas y llaves locales de agua, etc.

Las políticas públicas nacionales en el agua

El agua debe ser más que un complemento en las políticas implementadas en beneficio de la sociedad, ya que tiene diferentes desventajas: contaminación y escasez por el cambio climático. Por un lado, la contaminación del agua afecta la salud pública, el ambiente y el bienestar económico a nivel nacional e internacional. Los orígenes de la contaminación son diversos y su mitigación muy complicada. Su política pública hace de este tema uno de los problemas ambientales más difíciles de manejar. A pesar del progreso observado en los últimos 40 años, la mala calidad del agua es uno de los problemas más serios a los que se enfrenta el planeta. Datos de la Organización Mundial de la Salud indican que más del 80% del agua utilizada en el mundo no recibe ningún tratamiento (Pedrozo, 2020).

Pedrozo (2020) considera que las opciones de disminución en la contaminación del agua requieren decisiones complicadas, dado que implican un adecuado manejo de suelo, agua y gasto público. Se debe poner atención

a soluciones primarias y secundarias para que no sea complejo y se extienda la problemática del agua. Además, Pedrozo (2020) menciona que las políticas plasmadas hacia la sociedad deben ser claras, desde su distribución hasta su cuidado, ya que no hay excusa para preservar este recurso hídrico porque su uso es un medio para el desarrollo de un país. Por lo anterior, no sería extraño ver el tema de agua limpia en las agendas políticas de prácticamente todos los países del mundo. Es preciso mencionar que el uso cotidiano del agua día a día presenta deterioro derivado del uso descontrolado que le da la ciudadanía, siendo cada vez escaso dicho líquido hídrico, el cual es imprescindible para la supervivencia de los seres vivos. Además de estos contaminantes, elementos como el nitrógeno y el fósforo, generados por el uso de fertilizantes en granjas y zonas agrícolas, degradan la capacidad de los cuerpos de agua para sostener la vida de plantas, animales y la humanidad.

En países como Estados Unidos, Rusia, China y Francia, la evolución de las políticas públicas relacionada con el agua indica que entre más avanzada sea la economía de un país y su sistema regulatorio, habrá grupos ambientales más fuertes y una mayor preocupación ciudadana por la protección del ambiente (Pedrozo, 2020). Asimismo, en un país desarrollado el uso del agua es más extenso por sus actividades económicas y sociales; por lo tanto, hay veces que grupos civiles se organizan para la participación y creación de regulaciones en favor del agua (Pedrozo, 2020).

Pedrozo (2020) menciona que en los países en desarrollo ocurre lo contrario. Para tener un mejor desarrollo, los sectores que impulsan la economía a cualquier costo ejercen más influencia sobre el medio ambiente. Así, es en estos países donde se debe tener mayor énfasis en las políticas a favor del medio ambiente, ya que las políticas implementadas deben controlar los sectores más contaminantes, desde el industrial hasta el de agricultura (Pedrozo, 2020). Pedrozo (2020) considera que esta situación crea una marcada desigualdad en la repartición de impactos al interior de los países, las cuales son desventajas que no deben suceder al momento de instrumentar políticas dirigidas a la sociedad; no importa el estatus, la carencia del agua no escogerá estrato social.

El marco regulatorio en el suministro de agua potable

En México el suministro de agua potable, alcantarillado, tratamiento y la disposición de aguas residuales son regulados por los gobiernos municipales, donde se debe trabajar en conjunto con otros municipios y el gobierno estatal. El primer obstáculo es el extenso y complejo marco regulatorio sobre el agua potable que tiene problemas sobre el manejo inapropiado que se ha ido dando en los últimos años, por ello es necesario analizar si el marco regulatorio existente es factor a la buena o mala gestión del suministro del agua (Arellano, 2021).

La gestión del agua, hablando jurídicamente, está fundamentada a nivel constitucional en los artículos de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (artículos 4, 25, 27, 73, 115, 123 y 124) (2019). Dichos artículos tratan de forma directa o indirecta con la protección jurídica del agua en la ley de aguas nacionales. Resalta el artículo 4, mencionando que toda persona tiene el derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para su consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible (*Política*, 2019).

Por otro lado, el artículo 27 describe que las aguas son propiedad de la nación y sienta las bases para que el Estado regule el aprovechamiento sostenible, con la participación de la sociedad y los tres niveles de gobierno (*Política*, 2019).

El artículo 115 especifica que los municipios tienen la responsabilidad de coordinar los servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales (*Política*, 2019).

Asimismo, la Conagua (2020) menciona que a nivel federal la Ley de Aguas Nacionales (2016) describe el ordenamiento del artículo 27 constitucional que regula la distribución y control del agua y, asimismo, se designa a la Comisión Nacional del Agua como órgano responsable de ejercer la autoridad y administración del agua a nombre del ejecutivo.

Otras leyes que son importantes en cuestión del agua a nivel federal son las siguientes:

- El cambio climático
- Ley general de bienes nacionales
- Desarrollo forestal sustentable

- Ley general del equilibrio ecológico
- Protección al ambiente
- Ley minera
- La ley de derechos clasifica las zonas de disponibilidad de agua y determina las tarifas por el uso del agua, así como el cobro por descarga de aguas residuales con base en su calidad y la de los cuerpos receptores (Arellano, 2021).

Por otra parte, a nivel estatal se encuentra las siguientes leyes:

- Ley para el abastecimiento de agua potable y alcantarillado en el medio rural
- Ley de los servicios de agua potable y alcantarillado
- Reglamento de la ley estatal del agua

A nivel municipal se encuentran las siguientes leyes:

- Ley orgánica de los servicios de agua potable y alcantarillado
- Ley para el sistema intermunicipal de los servicios de agua potable (Arellano, 2021)

Se mencionan las leyes principales y más relevantes en materia de agua, que conforman un marco regulatorio sobre el agua potable y tienen el mismo fin sobre un recurso vital para el planeta y la humanidad. Cuidar el agua es el común denominador de toda ley, pero asimismo tienen deficiencias en la justicia ambiental, ya que no se ha realizado la tarea completa: el emitir la nueva ley general de aguas, sin embargo, no se ha cumplido (Arellano, 2021). El análisis específico que se ha realizado a la legislación en la regulación del agua ha llegado al siguiente análisis:

Por se el agua un recurso federal, compete de forma directa al congreso de la unión su legislación: sin embargo, los estados y municipios también deben estar involucrados en la configuración política, jurídico y administrativa de la protección y regulación de agua (Arellano, 2021). La Conagua (2020) menciona que es preciso analizar si el marco jurídico está bien fundamentado para facilitar o limitar el ejercicio de la agenda política, social y económica entre los diferentes usuarios del recurso y, asimismo, que los mismos usuarios estén llevando a cabo una buena gestión del ahorro del

vital líquido. El marco regulatorio debe ser sólido, con normas y requisitos, que promuevan la transparencia y la rendición de cuentas y salvaguarden los derechos de los consumidores. Al llegar a una buena regulación del agua, se busca asegurar que se cumplan los estándares de calidad, se fomente la conservación y el uso responsable del agua, se plantee la inversión en infraestructura y tecnologías adecuadas y, asimismo, proteger al medioambiente. Asimismo, la Conagua (2020) considera que un marco regulatorio adecuado se le puede incluir mecanismos para fijar tarifas justas por el consumo del agua, garantizando el acceso equitativo para la sociedad, tomando en cuenta a los que tienen ingresos vulnerables. Asimismo establecer procedimientos para resolver quejas que surjan de la sociedad en relación a la distribución y consumo del agua. El marco regulatorio para el suministro del agua es esencial para asegurar la disponibilidad y la calidad del agua a corto, mediano y largo plazo, así como para promover la eficiencia y la equidad en su distribución.

Las políticas públicas en el suministro equitativo al agua potable

Está claro que el agua es fuente fundamental para la sobrevivencia de la humanidad y del planeta en su totalidad, por ello es importante asegurar que cada región tenga el acceso correspondiente tanto la sociedad urbana como la rural. Recalde (2016) menciona que pocos países de América Latina reconocen el derecho al agua en sus constituciones, lo cual sería el primer paso para garantizar el cumplimiento, lo que debe de complementarse como políticas con enfoque de derecho.

Como afirma Recalde (2016), en México la Constitución reconoce el derecho al suministro del agua potable como un derecho humano, el cual está a cargo del Estado, considerándolo como un servicio, no como la venta de una mercancía. El agua debe ser considerada una prioridad total del gobierno, así como cada proyecto, plan o ley debe ser enfocado a este vital líquido, ya que el agua es fundamental para la sobrevivencia de la humanidad y, por ello, su importancia en las políticas públicas. Este recurso natural debe protegerse, ya que cada año que concluye, su existencia será más importante en el presente y en el futuro. Asimismo, es preciso mencionar que

en este siglo XXI, ya no es suficiente que el derecho al agua este establecido en la constitución, hoy en día es necesario que se establezcan lineamientos y condiciones claras, donde el Estado satisfaga este derecho y lleve a cabo un manejo claro a través de la federación y municipios. Gómez (2016) menciona que en México el agua es uno de los problemas que atañe del siglo XXI a los habitantes que viven en circunstancias diferentes. Como señala Gómez (2016) deben analizarse las políticas públicas en el momento de organizar la distribución y disponibilidad del agua, sin tomar en consideración el tipo de zona. (residencial o popular), todo a su vez que razonar así podría considerarse como discriminatorio, al limitar a las personas en el consumo del agua, derivado de la zona donde se radique; esto describe que no hay un objetivo claro en algunas comunidades por no proporcionar la cantidad necesaria de agua, ya que no existe la disponibilidad necesaria y suficiente para cumplir con los objetivos planteados en las diferentes leyes o planes para satisfacer la necesidades de la humanidad. Asimismo se argumenta que el suministro de agua se hace en desigualdad, dejando de lado la igualdad mencionada en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. En la actualidad cada política planteada no corresponde a la realidad después de un tiempo, cuando el organismo que opera el suministro del agua sólo proporciona la cantidad de agua que tiene en existencia para una cierta cantidad de habitantes. En la siguiente Tabla 1. Se muestra el nivel de cobertura de agua potable de forma básica por entidad federativa de México en el 2020.

Tabla 1. *Nivel de cobertura de agua potable gestionada de forma básica por entidad federativa de México 2020*

Entidad Federativa	Habitantes servidos	Cobertura
Aguascalientes	1 410 516	99,30%
Baja California	3 641 772	97,70%
Baja California Sur	744 338	94,10%
Campeche	884 512	95,60%
Chiapas	4 901 069	88,90%
Chihuahua	3 651 910	98,10%
Ciudad de México	9 023 868	98,60%
Coahuila de Zaragoza	3 099 677	98,90%
Colima	720 473	99,10%

Durango	1 774 075	97,50%
Guanajuato	5 947 867	96,90%
Guerrero	3 100 018	88,10%
Hidalgo	2 949 280	96,00%
Jalisco	8 181 452	98,60%
México	16 435 872	97,10%
Michoacán de Ocampo	4 584 390	97,10%
Morelos	1 873 566	95,70%
Nayarit	1 184 616	96,90%
Nuevo León	5 706 110	99,00%
Oaxaca	3 682 391	89,80%
Puebla	6 246 575	95,30%
Querétaro de Arteaga	2 302 578	97,60%
Quintana Roo	1 797 700	97,20%
San Luis Potosí	2 594 712	92,30%
Sinaloa	2 938 997	98,50%
Sonora	2 878 972	98,60%
Tabasco	2 246 119	93,80%
Tamaulipas	3 450 766	98,20%
Tlaxcala	1 306 033	97,60%
Veracruz	7 331 237	91,30%
Yucatán	2 285 195	98,80%
Zacatecas	1 584 868	98,10%
Total	120 461 524	96,10%

Fuente: Retomado de Conagua (2021).

La tabla 1 muestra el avance en la cobertura de agua potable donde la finalidad es que el suministro de agua aumente la cobertura en cada población que integra la república mexicana. Asimismo, las políticas públicas deben asegurar, sin importar la ubicación geográfica o condición económica, el acceso al agua. Es tarea equitativa tanto del gobierno, en primera instancia realizar un suministro adecuado del líquido, pero, asimismo, la sociedad cuidar el agua, que tanto le cuesta en la actualidad al medio ambiente reproducirla.

Conagua (2021) reporto en 2020 un total de 97 millones de habitantes atendidos en zonas urbanas y 22.3 millones en zonas rurales, que a nivel global representa un 95.2 % del servicio de alcantarillado.

Las políticas públicas en la infraestructura y suministro

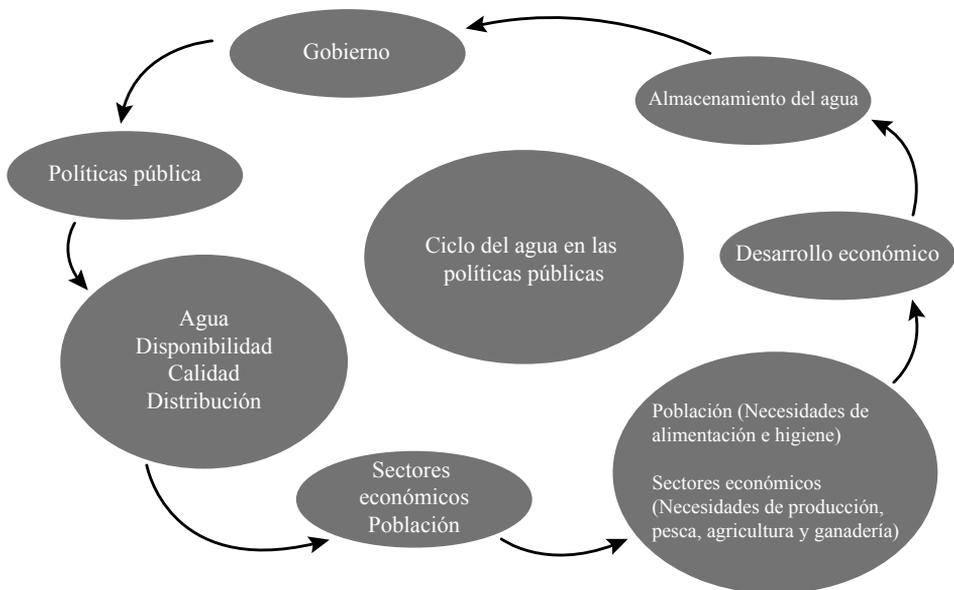
Las políticas en la infraestructura y suministro son fundamentales para garantizar el acceso a agua de calidad a la sociedad. Colmenárez (2020) considera que las políticas deben incluir medidas para mejorar la infraestructura de suministro de agua, como la construcción de redes de distribución, plantas de tratamiento y sistemas de almacenamiento. Además, las políticas públicas en este ámbito deben abordar la gestión sostenible del agua, promoviendo la conservación y el uso eficiente de este recurso. Esto puede incluir la implementación de programas de conservación, la promoción de tecnologías más eficientes en el uso del agua y la educación sobre la importancia del cuidado. Rosales (2018) propone que las políticas de infraestructura y suministro deben contemplar medidas para asegurar la equidad en el acceso al agua potable, especialmente en comunidades marginadas o rurales. Esto implica garantizar que todas las personas tengan acceso a servicios de agua de calidad, independientemente de su ubicación geográfica o situación socioeconómica. Se puede presumir que las políticas públicas en la infraestructura y suministro tienen el objetivo asegurar el acceso universal a agua de calidad, promover la sostenibilidad y garantizar la equidad en su distribución.

Armenta (2020) menciona que México requiere más y mejor infraestructura, con el fin de mantener la competitividad social y económica en cada región que forma la república mexicana. Para lograr este propósito es necesario que se incremente la inversión y se implementen políticas públicas integrales que impulsen el crecimiento económico como un factor esencial para que se tenga una mejor calidad de vida en el país. Asimismo, Armenta (2020) recomienda que el desarrollar políticas públicas enfocadas a la infraestructura resulta fundamental para coordinar la acción de las autoridades del agua como en la agricultura y los servicios de agua potable y saneamiento; además, el revisar los principales problemas sociales y ambientales derivados del rezago en mantenimiento de la infraestructura existente. Es importante mencionar que la tarea de desarrollo en infraestructura en México necesita la labor de todos los actores involucrados (los tres niveles de gobierno y organismos empresariales). Es preciso indicar que se debe actuar en conjunto para que la sociedad alcance mayores niveles de

satisfacción en el suministro del agua y tener una buena calidad de vida y, asimismo, la sociedad debe ayudar para el cuidado del suministro.

La figura 1 muestra la importancia del agua en las políticas públicas, ya que el agua es un bien influyente en cualquier actividad, desde la más sencilla hasta la más compleja, para la sobrevivencia y el desarrollo de la humanidad.

Figura 1. Desarrollo del valor del agua en la implementación de las políticas públicas



Fuente: Elaboración propia con base en López (2021).

La figura 1 muestra la importancia del agua para el desarrollo de una población con su economía, añadiendo valor agregado creando plusvalías. Asimismo, como el agua es fuente fundamental en la humanidad, se deben implementar políticas públicas que impulsen las prácticas más sostenibles en el uso del agua, así como la protección y administración de las fuentes de abastecimiento.

Sostenibilidad y conservación del agua

Es de vital importancia la conservación del agua para garantizar el suministro del vital líquido, que se va haciendo escaso siglo tras siglo y que es fundamental para la vida humana. Fernández (2021) opina que es importante tomar en cuenta los siguientes puntos:

1. El uso eficiente del agua se debe promover prácticas de consumo responsable, como el cerrar las llaves de agua mientras no esté en uso, reportar fugas de agua, asimismo, reparar las fugas internas que se encuentran en los domicilios; también es importante mencionar que se deben utilizar dispositivos de bajo consumo en hogares y empresas.

2. Recolección y utilización del agua de lluvia, donde este punto es importantísimo, ya que se protege los pozos de agua potable y se satisface la necesidad de altas demandas de agua en tiempos de sequía; por ello es importante instalar sistemas de captación de agua de pluvial para su posterior uso, como en jardines y en la limpieza de espacios exteriores.

3. Implementar tratamientos adecuados de aguas residuales para reducir la contaminación y permitir su reutilización en actividades no potables.

4. Protección de fuentes de agua para preservar los ecosistemas acuáticos como ríos, lagos y acuíferos, que son las fuentes naturales de agua potable.

5. Fomentar la educación y concientización de la población sobre la importancia del agua en su conservación y promover prácticas sostenibles en hogares, escuelas y empresa (Fernández, 2021).

Los puntos anteriores son medidas importantes muy básicas pero importantes para trabajarlas a nivel particular, familiar o colectiva para garantizar la sostenibilidad y conservación del agua a un largo plazo.

La participación ciudadana en el suministro del agua

La Unesco (2018) menciona que la crisis del agua es, sin duda, un problema cada vez más severo; como consecuencia, un alto porcentaje de la población mundial en estado de pobreza no tiene acceso a este recurso. Asimismo, es importante mencionar que la crisis de agua es por la falta de una gestión adecuada del recurso hídrico.

La Unesco (2018) considera que para el 2050 más del 4% de la población mundial estará viviendo donde no se pueda satisfacer el requisito de contar con 50 litros por persona y por día, para que se puedan atender las necesidades básicas. En México, ciudad donde se concentra la mayor cantidad de población siendo un motivo fundamental para que haya escasez de agua, es preciso que se mencione que en algunas regiones del país el volumen demandado de agua es mayor que el mismo crecimiento urbano.

Colmenárez (2020) considera que todos los problema del agua son por la falta de unas políticas adecuadas que sean enfocadas a la conservación y el manejo integral del agua. Es fundamental garantizar la gestión sostenible y equitativa del agua, un recurso vital. La ciudadanía puede y debe contribuir de diferentes formas, como el involucrarse en la toma de decisiones, monitorear la calidad del agua, promover la conservación y el uso eficiente del agua y, asimismo, participar en la planificación y ejecución de políticas relacionadas con el suministro del agua. Es importante la participación ciudadana, ya que directamente se identifican las necesidades y preocupaciones de la ciudadanía en relación con el suministro del agua, lo que permite una mejor planificación y gestión de los recursos hídricos. Además, la participación ciudadana promovería la transparencia y la rendición de cuentas, así como la responsabilidad de la gestión del agua (Colmenárez, 2020). Existen diferentes mecanismos para fomentar la participación ciudadana, por ejemplo la creación de comités vigilantes del agua, consultas públicas, audiencias, campañas de sensibilización y educación, la promoción entre autoridades locales, organizaciones no gubernamentales y la misma sociedad civil. La participación ciudadana es muy importante para lograr una gestión adecuada, efectiva y equitativa, garantizando la disponibilidad y el acceso para todos los miembros de la comunidad.

Conclusiones

Esta investigación se desarrolló con la finalidad de cuestionar pregunta si México tiene una política pública ineficiente que no garantiza una buena gestión en el suministro de agua potable para tomar acciones en el servicio de cobertura de agua para la sociedad. Derivado de esta pregunta de inves-

tigación, como primer paso se define a las políticas públicas como un conjunto de acciones para dar soluciones a los diversos problemas públicos suscitados por las necesidades de la sociedad, dirigido a realizar un análisis integral de la problemática en el suministro de agua, que no son atendidos en su totalidad por las políticas públicas fundamentadas en leyes, programas, planes, etc. Hace falta un adecuado estudio en el suministro de agua en las políticas públicas, aún existen insuficiencias en las políticas públicas existentes en México, donde la mayoría de la gente que radica en el país no pueda realizar adecuadamente sus necesidades básicas como lavar ropa, lavar frutas y verduras, aseos personales y hasta para beber, ya que es imprescindible el agua para vivir. Por estas razones se deben crear políticas públicas en el suministro de agua, donde todos los actores deben estar involucrados, para realizar un proceso más abierto y certero. Así mismo existen problemas operativos en el suministro de agua y resaltan día a día como en fugas de agua, la falta de cultura de ahorro del agua, problema de tomas clandestinas, crisis sanitarias, no existen multas por el mal uso del agua, no existen políticas estrictas a las empresas privadas beneficiadas por el agua; son situaciones que han rebasado las acciones que se plantean en las políticas públicas contemporáneas, lo cual indica que es momento de cambiar, ya que si no se toma con seriedad este problema de gestión de políticas públicas en el suministro de agua potable en el país, será demasiado tarde cuando se llegue a la escasez. Con esta investigación se coadyuvó a fortalecer la rectoría de las políticas públicas en el suministro de agua, la protección y restauración del recurso hídrico que permita garantizar un marco normativo en alargar la vida del agua que permita el acceso, disposición y consumo de generaciones futuras. Se han hecho algunos avances en el tema del agua; sin embargo, para tener mejoramientos administrativos, operativos y logísticos se debe hacer una nueva Ley de Aguas Nacionales llevando un análisis minucioso de cada estado del país en cuestión hídrica, por que cada estado tiene diferentes problemas en el suministro de agua, sin dejar de lado el incremento de apoyos financieros para este sector.

La información descrita en esta investigación se convierte en una herramienta útil para los gobiernos federales y locales al elaborar las políticas públicas en materia del suministro de agua, a efecto de que se considere la participación ciudadana, fundamental para tener una visión amplia de la

problemática que padece cada sector y esto ayudará a implementar políticas públicas reales de acuerdo a las necesidades de cada área demográfica y mejorar la eficiencia en el suministro de agua, ya que en conjunto gobierno y sociedad se verán involucrados con el propósito de cuidar el agua. Asimismo, se pretende con esta investigación guiar al gobierno para que formule leyes o programas, que guíen a realizar acciones y proteger el suministro del agua, porque es un recurso vital para la supervivencia humana y el mantenimiento del ecosistema, el agua es la esencia de la vida, sin este vital líquido la vida, tal como se conoce, no sería posible.

Bibliografía

- Arellano, O. (2021). El agua y su marco legal. *Susmai*, 1, 6-10.
- Armenta, H. (2020). Propuesta de políticas públicas para el desarrollo de la infraestructura hidráulica en México. *Apuntes sobre la gestión hídrica y la infraestructura hídrica*, 1, 14-19.
- Asociación Nacional (2020). Reto de los organismos operadores. *Aneas*, 1, 2-8.
- Colmenárez, A. (2020). Una década del derecho humano al agua y la participación ciudadana. *Compendium*, (44), 3-6. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=88064965004>
- Conagua (2020). Diálogos en América Latina y el caribe. *Somos Conagua*, 64(2), 2-8.
- Conagua. (2021). Aumento de consumo en municipios metropolitanos por medidas sanitarias. *Revista el lavado de manos*, 1, 4-6.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Art. 4,25, 27,73,115,123 y 124. (7 de octubre de 2019).
- Enciso, A. (2021). México en medio de una de las más grandes crisis hídricas de su historia. En *La Jornada* [en línea]. Recuperado de <http://let.iiec.unam.mx>
- Fernández, L. (2021). Conservación del agua. *Hacia una ecología verde*, 3, 4-10. <https://acortar.link/hIE7WQ>
- Fuerte, D. (2019) Sustentabilidad y la gestión del recurso agua en México: Una revisión histórica. *Economía y sociedad*, 13(40), 13-27. <https://acortar.link/2xQv0i>
- Gómez N. (2016). El agua es un asunto de seguridad nacional. *Calderón. Universal-Nación*, 1, 6-10. <http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/492594.html>
- López, A. (2021). El agua en el Tercer informe de gobierno. *Acceso incluyente al agua potable*, 3, 9-10.
- Menchaca, S., y Calva, A. (2022). Metodología sobre la disponibilidad de agua, políticas públicas y usos del recurso hídrico. *UVserva*, 13(2),68-77. <https://doi.org/10.25009/uvs.vi13.2862>
- Merino, B. (2023). Gestión y análisis de políticas públicas. *Nueva época*, 32(3), 28-44. <https://doi.org/10.24965/gapp.32.2023>

- Merino, V. (2023). El sistema competencial en los regímenes municipales de las repúblicas iberoamericanas. *Revista de estudios locales*, 261(3), 35-57. <https://acortar.link/6l0QDe>
- Patel, K. (2021). Sequía generalizada en México. *Ciencia Nasa*, 1, 1-2.
- Pedrozo, A. (2020). La calidad del agua un eje clave de política pública. En *Gobierno de México* [en línea]. <https://acortar.link/zwL6lS>
- Programa Nacional Hídrico (2018). Acciones y programas. *Avances y resultados*, 1, 4-10.
- Recalde (2016) Acceso equitativo a servicios de agua potable y alcantarillado: una oportunidad para el activismo judicial y social a nivel local. *Revista de derecho*, 46(4), 257-291. <https://doi.org/10.14482/dere.46.8818>
- Rosales, A (2015) Economía política del servicio de agua y saneamiento en la ciudad de México. *Colmex*, 1,30-36. <https://acortar.link/3chRWq>
- Unesco, (2018). First Water Science-Policy Interface Colloquium. En Unesco [en línea]. <https://acortar.link/dCQw3b>
- Zamora, I. (2019), Panorama y perspectivas del agua en México, *Jornada de agua, mares y océanos*, 62(3), 40-45. <https://acortar.link/Sk5Bsh>

7. La viabilidad del uso de los autos eléctricos en naciones en desarrollo¹

DANIEL ROMO RICO*
CHRISTIAN MUÑOZ SÁNCHEZ**

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.187.07>

Resumen

La incorporación de los autos eléctricos al parque vehicular es una de las medidas que se están alentando para neutralizar los efectos del cambio climático. Implica el desplazamiento del diésel y la gasolina como combustibles en el sector transportes. Algunas naciones han planteado metas para la mitad del decenio siguiente, que vislumbran potenciales cambios estructurales en la industria automotriz, así como con las que interactúa. No todos los países han planteado dichas metas y mucho menos cuentan con las condiciones para avanzar en tal proceso. El presente capítulo busca identificar los principales retos que las naciones en desarrollo afrontan para alinearse al proceso de desplazamiento de los autos convencionales operados con los derivados del petróleo. Para ello, se realiza un diagnóstico de las industrias petroleras y el problema medioambiental que origina su combustión. Asimismo, se analiza la industria automotriz y sus avances en el caso de los autos eléctricos. Finalmente, se exponen los obstáculos que esas na-

¹ Capítulo derivado del proyecto de investigación sip 20230202 "Estudios sobre el Sector Energético en México" patrocinado por el Instituto Politécnico Nacional.

* Doctor en Ingeniería en Economía de la Energía. Profesor e investigador de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Ticomán (SEPI-ESIA-TICOMÁN), Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4672-7988>

** Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor e investigador de la (ESCA-ST), Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8692-4252>

ciones en desarrollo afrontan para electrificar su parque vehicular. Se concluye que tal proceso será lento y complejo en virtud de las condiciones de ese grupo de naciones, por lo que su alineación hacia el uso de los autos eléctricos demanda política públicas de largo plazo, soportadas con recursos financieros, tecnológicos, políticos y sociales.

Palabras clave: *Autos eléctricos, naciones en desarrollo, políticas públicas, ventajas y desventajas de los autos eléctricos, transición de autos convencionales.*

Introducción

El crecimiento económico está ligado a la demanda de energía y, por tanto a su adecuado abasto, pero también a una serie de factores del entorno. En los últimos años se han instrumentado distintas acciones para reducir las emisiones de gases efecto invernadero entre las que destacan las realizadas en el sector energético. Una de las recientemente impulsadas es la adopción del vehículo eléctrico (VE), la cual tiene una serie de implicaciones, no sólo por introducir un producto nuevo en el mercado, sino por las del desplazamiento de los autos convencionales (AC), primordialmente impulsados por los combustibles gasolina y diésel, que llevan muchos años siendo aporte de la actividad económica global.

Se han realizado algunos estudios sobre la velocidad de introducción de los VE y, en particular, de los autos eléctricos (AE), que, si bien operan desde siglo XIX, no han logrado introducirse de manera masiva al mercado. Algunos han planteado que su adopción está relacionada con la percepción de los clientes o en las barreras de costos (Lebeau *et al.*, 2012). Otros centran su atención en las preocupaciones de su seguridad, confiabilidad y alcance (She *et al.*, 2017). También se plantean las condiciones de los consumidores —educación y capacidad adquisitiva— (Abotalebi *et al.*, 2019). Asimismo, se ha planteado que persisten barreras para su uso, las cuales dependen de múltiples factores, como las elecciones de los consumidores, consideraciones jurídicas, geográficas y la etapa de la innovación tecnológica (Browne, 2012). Otros han señalado que la escala de transición es tan grande, de gran

alcance y requiere un análisis profundo, y que es más significativo dependiendo de las diferencias entre naciones desarrolladas y en desarrollo (Yerguin, 2022).

La velocidad de adopción de los AE está en función de factores tecnológicos, económicos, políticos, ambientales y sociales, aunque para algunos éstos últimos deban ser de mayor profundidad (Digalwar y Rastogi, 2023). En el caso de las naciones no desarrolladas, el tema del viraje hacia la integración de los AE a sus parques vehiculares ha sido poco estudiado, pero representa una opción para planear su política pública en materia energética y alinearse a los procesos de transición energética global o de seguridad energética.

Este trabajo analiza los retos que las naciones en desarrollo (NED) enfrentan a fin de transitar hacia el uso masivo de los AE, con el objeto de contribuir a la formulación de políticas públicas. Para identificar tales retos se analizan las actividades más críticas que pueden promover o desestimular a que las NED aceleren o moderen tal transición. Así, en primera instancia, se analiza la relación de las industrias de los hidrocarburos y de la automotriz a nivel global. Paso seguido, se exponen los elementos más relevantes que caracterizar a la industria automotriz tradicional, para continuar con su relevancia de su liga con el tema medioambiental. Se estudian las características generales de los VE y sus principales retos para utilizarse de manera masiva. Finalmente, se presentan los principales retos a enfrentar en las NED en la adopción de los AE. Se concluye que su uso y el desplazamiento de los convencionales en las NED enfrentará mayores retos que en las naciones desarrolladas, pero se excluye a China, quien es uno de los líderes en este renglón.

La industria de los derivados del petróleo y su relación con la industria automotriz (IA)

El consumo mundial de energía primaria creció a una tasa media anual de 3.2% en los últimos treinta años. El transporte, que es fundamental en el desarrollo del intercambio de bienes y servicios y en el movimiento de personas, es la principal actividad demandante del consumo final con alrededor

de una cuarta parte del total. El petróleo y el gas natural han predominado como los principales combustibles utilizados en el sector transporte. Su contribución se ha reducido por la incorporación de los autos que consumen electricidad y el uso de las fuentes renovables.

Las reservas de petróleo se han mantenido al alza a través del tiempo, a pesar del agotamiento de los grandes campos convencionales, tanto por efecto de la disminución de los costos de producción motivados por los desarrollos tecnológicos, como por un nivel más elevado de los precios del crudo. Sin contemplar el volumen explotable de las reservas prospectivas y posibles desarrollos tecnológicos, que podrían permitir la explotación de campos de mayor complejidad (en aguas ultraprofundas o campos no convencionales, por ejemplo), el potencial suministro de aceite con el nivel de reservas probadas actuales es de al menos 19 años en las condiciones de producción actual. Ello permitiría dar continuidad al empleo de los AC, pero también la necesidad de transitar hacia los VE.

Durante 2022, se consumieron 97.3 millones de barriles de petróleo por día (MMbd), de los cuales dos terceras partes ocurrió en las naciones desarrolladas. China e India lideran el volumen consumido derivado de su desempeño económico y al tamaño de su población. La producción procedió de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) (36.7%), Estados Unidos (18.9%) y de Rusia (11.9%) (BP, 2023). Hacia los próximos años, se prevé que la tendencia en uso del petróleo continúe elevándose, principalmente en las NED, lo que contrastará con la tendencia decreciente que se mantiene en las más industrializadas. Sólo en 2023, las inversiones en la industria petrolera alcanzarían 528 miles de millones de dólares, siendo Estados Unidos, Brasil, Guyana y el Medio Oriente, las principales plazas de su impulso (AIE, 2023).

El apetito por el petróleo y derivados ha llevado a que la capacidad de refinación global llegara a 102 MMbd en 2022 (vs. 77 MMMbd de 1982). Entre 2022 y 2026 se tienen contemplados 460 proyectos relativos a refinerías. De esos, 118 son de nueva construcción y 342 expansiones de proyectos existentes. Alrededor de 215 se ubicaban en etapa de construcción hacia mediados de 2022 (Offshore Technology, 2022).

En América Latina están en proceso de construcción y/o actualización algunas refinerías. Tal es el caso de la nueva refinería Olmeca en México;

las ampliaciones en Esmeraldas de Petroecuador; Ecopetrol en la refinería Barrancabermeja (Arenales, 2023) y Paulinia en Brasil. En Asia, la actividad de creación de infraestructura en refinación es la más dinámica, encabezada por China entre las que destacan las nuevas capacidades de las Refinería Jie Yang, Shenghong, Guandong, Lianyungang, Jieyang, Huajin y Yulong. Otros proyectos destacados en esa región del mundo están en la India en la refinería de Balomer, Panipat, Gujarat y Vizag. En Kuwait inició la nueva refinería Al Zour, la refinería Jazan de Arabia Saudita, la de Karbala de Irak y la Duqm de Omán. Con estas la región elevaría su capacidad en cerca de 10 MMMbd en 2023. En África los proyectos más relevantes son Dangote en Nigeria y Dangote en Ghana (SyP Global, 2023).

La industria petrolera y de derivados está estrechamente ligada a la industria automotriz, ya que es un proveedor relevante de combustibles. Para las NED, el modificar dicha liga conlleva un sinnúmero de retos, que tienen impactos directos en su desempeño económico y, particularmente sobre su sector energético. Entre los más representativos se encuentran:

El mercado global del petróleo es de gran tamaño con potencial de negocio de alrededor de 2.4 billones de dólares (a 70 dólares por barril), mucho más que el Producto Interno Bruto (PIB) de varias naciones en el mundo. A ese mercado se añade las operaciones de cobertura (contratos de futuro, *forward* y de opciones), que en valor pueden superar en más de 6 veces al mercado spot. También, el mercado global de productos de derivados (gasolina, diésel y turbosina, entre otros) implica montos de intercambio elevados, en donde participan activamente las NED. Cambios en el nivel de precios del crudo impactan a esos mercados y, por ende, la valuación de los niveles de producción, consumo o comercialización de los citados países.

El nivel de la renta petrolera, que es la diferencia entre los ingresos y costos totales de la producción de hidrocarburos, es base para naciones productoras de petróleo por su contribución al (PIB). Tal es el caso de Libia (56%), Iraq (43%), República del Congo (35%), Angola (28%), Arabia Saudita (24%) y Omán (24%) o en general el Medio Oriente (15%). De hecho, casi una veintena de naciones dependen en más del 10% su actividad petrolera y para otras es fuente de abasto seguro de energía. Potenciales desplazamiento del petróleo en esas naciones generaría posibles conflictos sociales y económicos.

El nivel en los precios de petróleo ha sido relevante para la economía global y, en especial, para las NED. En periodos alcistas han inducido presiones inflacionarias en economías con mercados liberalizados e importadoras del crudo, lo que afecta el poder adquisitivo de los estratos de población más bajo. Por el contrario, puede ser un factor de amortiguamiento inflacionario en periodos bajistas, aunque no siempre los mecanismos de ajuste deflacionario son trasladados de productores a consumidores. En algunos casos se establece una política de precios de los hidrocarburos neutral, a través de la aplicación de subsidios al consumo, a fin de evitar presiones inflacionarias, redistribuir la riqueza y como bandera política.

Varios países tienen como fuente de divisas a la industria petrolera. Al reducirse los volúmenes de exportación por menores colocaciones de productos petroleros y no contar con una base sólida de exportaciones alterna, como acontece con la mayor parte, se limita su capacidad para financiar su balanza de pagos. Ello es particularmente relevante para las naciones con presiones de déficit en cuenta corriente, como el caso colombiano, brasileño y de Kazajistán, entre otros.

Los intereses de las empresas petroleras, especialmente de las más grandes (Oil Majors, por ejemplo), implican enorme experiencia, acumulación de grandes inversiones en infraestructura, recursos humanos y en general experiencia en el negocio. Existen intereses de las grandes petroleras privadas que, además de realizar actividades en la exploración y explotación de hidrocarburos, tienen una presencia relevante en las etapas de refinación, petroquímica y el transporte, almacenamiento y distribución. Algunas participan globalmente y en gran parte de las NED. Realizan operaciones en individual o en asociación y llegan a negociar de manera conjunta o apoyadas por sus gobiernos, lo que involucra grandes intereses de particulares.

Algunas son empresas petroleras estatales nacionales o tienen participación del Estado en el capital social. La permanencia del negocio de combustibles derivados del petróleo es fundamental por su potencial productivo, puede ser apoyo para la determinación de su política exterior o de sus acuerdos internacionales. En el caso de las naciones petroleras de menos desarrollo, pueden ser un elemento estratégico en su política pública, por el grado de su influencia económica y los efectos sociales y políticos que

involucra. Venezuela y su otrora boyante industria petrolera, Libia en tiempos de Muamar el Gadafi o Irak con Sadam Husein y la actual Rusia con Vladímir Putin son ejemplos de ello.

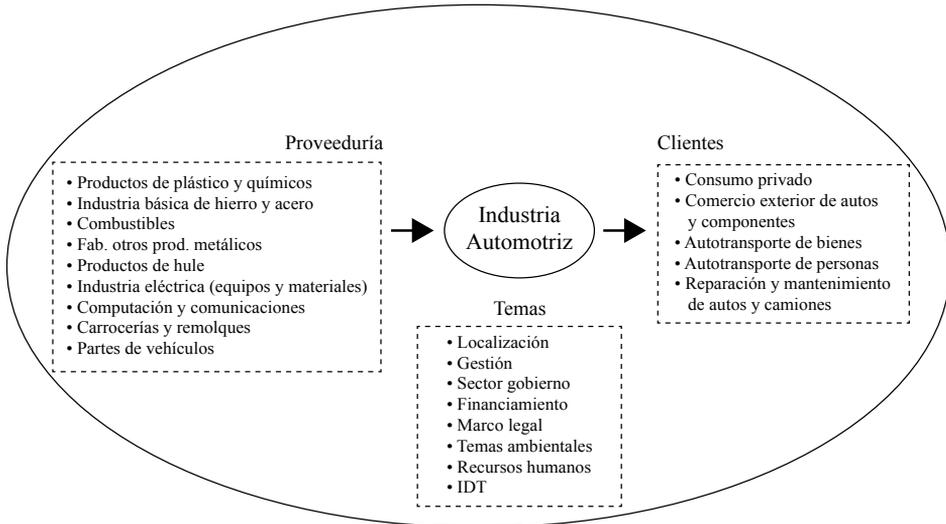
En paralelo con el desarrollo de las grandes petroleras, existen compañías que proveen de una amplia gama de bienes y servicios a largo de la cadena de valor de la industria petrolera. El nivel de especialización logrado en materia de servicios a la industria petrolera ha incentivado la formación de empresas de servicio de gran tamaño, perfil y especialidad. Para las naciones petroleras, el desarrollo los proveedores se traduce en crecimiento y potencialmente en desarrollo económico.

Una de las actividades de impulso de la industria petrolera ha sido los avances tecnológicos, que permiten apoyar su competitividad y eficiencia. La investigación y desarrollo (ID) promovida a nivel global implica canalizar fondos a centros de investigación, universidades y a la formación de personal. Ha posibilitado el consolidar avances en áreas de especialidad, tales como aguas profundas (Brasil y Noruega), campos no convencionales (Argentina), entre otras. Las NED obtienen beneficios, bien a través de la asimilación o adquisición de tecnología o para la formación profesional.

La industria automotriz (IA)

La IA ha sido uno de los pilares de empuje de la economía internacional junto con la de los hidrocarburos. Contribuye con alrededor del 3% del Producto Interno Bruto global (Azone, 2022). La masificación en el uso del transporte posibilitó el constituir una amplia capacidad global instalada y el desarrollo de compañías proveedoras en las industrias del plástico, motores de combustión interna, equipos y accesorios eléctricos, productos de hule, productos químicos, de hierro y acero y partes para vehículos automotores, entre otras.

Figura 1. Principales vinculaciones de la industria automotriz



Fuente: Elaboración propia.

Se fabrican vehículos que consumen gas natural, diésel y gasolina, e incluso biocombustibles en distinta proporción, contribuyendo a las menores emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI). También se ensamblan eléctricos híbridos, eléctricos híbridos enchufables, eléctricos híbridos suaves y eléctricos de pila de combustible. Estos últimos emplean hidrógeno, pero su introducción en el mercado es incipiente por el elevado costo de todo el sistema requerido para su operación.

El desarrollo de la IA ha sido soportado por importantes montos de inversión en infraestructura de ensamble, transporte, almacenamiento y distribución (incluyendo el mercado de reventa). La tendencia hacia la concentración de fabricantes y su necesidad de internacionalización permitieron economías a escala, la especialización regional y el acceso a una diversa gama de autos y camiones. Apuntalaron acciones como la innovación de

productos financieros, avances en los sistemas automatizados y de comunicación, así como el desarrollo de la formación profesional en la industria.

Se gestaron marcos legales adaptables a las condiciones de evolución en la IA, por ejemplo, en materia de tránsito o ambiental. El intercambio comercial global de autos y autopartes ha impulsado un arreglo operativo en donde ciertas naciones desarrollaron capacidades. Se amplió la disponibilidad a nuevos modelos de autos. Se consolidaron sistemas regionales y/o locales enfocados al desarrollo de la innovación e impulsaron procesos y segmentos basados en el uso intensivo de la mano de obra y en la menor posibilidad de escalamiento industrial (Basurto, 2013).

La introducción de nuevos participantes y tecnologías, el aumento en la capacidad adquisitiva de la población y el entorno económico enfrentado han sido los principales factores del cambio en la estructura del mercado de la IA global. Hacia 1990 se contaba con 37 compañías ensambladoras, de las cuales General Motors, Ford, Toyota, Chrysler y Volkswagen controlaban el 50% de la producción mundial. En 2022 se incorporó Hyundai y Renault-Nissan al *top 10* de las cinco más importantes, pero contribuyeron apenas con el 37.6% del total global producido. Asimismo, aparecieron más compañías algunas de AE y otras se fusionaron, llegando a un total de 47 a nivel global, las cuales están soportadas por grupos de interés relevantes (tabla 1).

A través de los años se han logrado avances tecnológicos que han originado una mayor competitividad de los AC. Más distancia recorrida por litro de combustible consumido, mayor comodidad y seguridad. Para reducir sus emisiones se emplean convertidores catalíticos con metales preciosos, juntas y mangueras más ajustadas, computadoras para medir con precisión el combustible utilizado y el aire que ingresan al motor, así como mejoras en tanques de gasolina y unidades con materiales más ligeros.

En suma, la IA es una actividad compleja que involucra múltiples actividades e intereses, en las cuales las NED tienen una participación relevante, pues además de ser consumidoras, han logrado crear infraestructura y conocimiento técnico para operarla.

Tabla 1. *Empresas automotrices a nivel global y sus principales asociaciones*

<i>Empresa automotriz</i>	<i>Empresas subsidiarias relevantes</i>	<i>Accionistas principales</i>
Volkswagen AG (VWAGY)	Porsche, Lamborghini, Bentley, ŠKODA, SEAT, Audi, Volkswagen Passenger Cars	Porsche SE, Accionistas institucionales, Gobierno de Baja Sajonia
Toyota Motor Corp. (TM)	Daihatsu, Lexus, Toyota Tsusho Corporation, Toyota Motor Manufacturing, Toyota Motor Europe, Toyota Motor North America	Toyota Group Companies, Japan Trustee Services Bank, Nippon Life Insurance Company, The Master Trust Bank of Japan, The Bank of Tokyo-Mitsubishi UFJ
Ford Motor Co. (F)	Ford Motor Co of Canada, Ford Europe, Ford Motor Credit Company, Ford Motor Land Development Co, Ford Motor Coy Australia, Ford Otosan	Accionistas institucionales, Familia Ford
Stellantis (STLA)	Opel/Vauxhall, Citroën, Peugeot, Maserati, Alfa Romeo, RAM, Dodge, Jeep, Chrysler, Fiat	Exor N.V., Peugeot Family, Bpifrance, Dongfeng Motor Co., Chinese Government Entities
Mercedes Benz AG (MBGYY)	Mercedes-Benz Cars, Mercedes-AMG GmbH, Mercedes-Maybach, Mercedes-Benz Vans, Daimler Trucks, Smart	Kuwait Investment Authority, BlackRock, Norges Bank Inv. Management, Gov of Singapore Inv. Co., Renault-Nissan-Mitsubishi Alliance.
General Motors (GM)	Chevrolet, GMC, Cadillac, Buick, Holden, Baojun, Wuling.	Vanguard Group, BlackRock, State Street Corporation, Berkshire Hathaway, FMR LLC (Fidelity), Vanguard Group, Inc.
Honda Motor Co. Ltd. (HMC)	Honda RyD Co., Ltd., Honda de México, SA. de CV., Honda Canada Inc., Honda Thailand Manufacturing Co., Ltd., Honda of America Manufacturing, Inc., Honda Motorcycle y Scooter India Pvt. Ltd.	Sumitomo Mitsui Banking Corporation, The Bank of Tokyo-Mitsubishi UFJ, Ltd., Japan Trustee Services Bank, Ltd., The Master Trust Bank of Japan, Honda family
Motores Tesla (TSLA)	Tesla Energy, SolarCity, Tesla Grohmann Automation, Maxwell Technologies	Public Investors, Mutual Funds, Institutional Investors, Elon Musk
Nissan Motors (NSANY)	Nissan North America, Nissan Motor Manufacturing de México, Nissan Motor Thailand Co., Ltd., Nissan Motor Manufacturing (UK) Limited, Nissan Motor India Private Limited, Nissan Europe	Renault, The Government of Japan, y otros accionistas institucionales
BYD Co. Ltd. (BYDDY)	BYD Auto Co., Ltd., BYD Semiconductor Co., Ltd., BYD Energy Solutions Co., Ltd., BYD Electronic (International) Company Limited, BYD Precision Manufacture Company Limited, BYD Brazil	BYD Management Team, Berkshire Hathaway, Fonds Stratégique d'Investissement (FSI)

Fuente: Elaboración propia con información de las empresas.

La contaminación y los vehículos eléctricos (VE)

El crecimiento industrial postguerra aceleró la ampliación de las zonas urbanas y el mejor nivel de vida en varias naciones. Ello aceleró el consumo y producción de bienes y servicios. El sector transporte se dinamizó, originando el aumento del parque vehicular, particularmente el de los automóviles. Los derivados de los hidrocarburos fueron los combustibles de su operación, pero su combustión conllevó, entre otras cosas, a la contaminación del aire, que derivó en afectaciones a actividades productivas y problemas de salud en la población. Con ello se gestaron obstáculos a la libre movilidad de personas y mercancías ante las políticas de restricción vehicular. Grandes zonas urbanas fueron las más afectadas, entre las que destacaron las de París, Tokio, Nueva York y la Ciudad de México.

Ello detonó acciones globales, nacionales y grupales en distintos foros e iniciativas desde principios de los años 70, los cuales conforman visiones no uniformes, debido a la diversidad de intereses involucrados. Destacan, las relativas a la reducción en la emisión de gases efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4) y el ozono (O_3). Particular preocupación ha sido las emisiones de CO_2 , originado en parte en el sector transporte y uno de temas de creciente atención global. Sus emisiones se multiplicaron por 2.4 entre 1970 y 2022 alcanzando un total de 34.3 miles de millones de toneladas. Durante este último año, las principales naciones emisoras de CO_2 fueron China (31%), Estados Unidos (14%), Europa (11%), India (8%) y Rusia (4%) (BP, 2023).

Una de las iniciativas globales de relevancia fue la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que en 1997 impulsó el Protocolo de Kyoto a fin de que un grupo de naciones acordaran compromisos de reducción de los GEI. Con el paso de tiempo se promovieron otros foros como el acuerdo climático de París, enfocado a limitar el aumento de la temperatura global y al logro de los objetivos del desarrollo sustentable de Naciones Unidas. Los más ligados a la IA y al sector energético fueron los relativos al acceso a energía asequible y limpia, así como alentar las ciudades sostenibles, el consumo y la producción responsables.

El impulso a la utilización de los VE no genera contaminación acústica, pues, a diferencia de los autos convencionales, no cuenta con correas de

distribución de circuitos de aceite, refrigeración y de frenado. No obstante, se ha cuestionado que pueden representar un peligro para los peatones y la seguridad vial, debido a sus motores silenciosos.

Durante 2022 se fortaleció el grupo que integra el memorando de entendimiento global sobre vehículos medianos y pesados de cero emisiones llegó a 28 signatarios, de los cuales sólo una cuarta parte son NED. Este mecanismo no crea ningún derecho u obligación legalmente vinculante entre los participantes. Su meta hacia 2040 es la venta de camiones y autobuses nuevos 100% de cero emisiones con una provisional de 30% de cero emisiones hacia 2030. Únicamente Saint Maarten, Aruba, Curazao, Chile y Uruguay firmaron ese memorando en América Latina (MOU, 2022).

Otra iniciativa es el foro mundial denominado *Clean Energy Ministerial* (CEM) constituido por 29 miembros (incluido México), 22 participantes y un conjunto de instituciones de investigación, universidades y organismos internacionales, como la International Energy Agency (IEA), la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), National Renewable Laboratory, la International Renewable Energy Agency (IRENA), entre otros. Está enfocado a compartir lecciones aprendidas y las mejores prácticas en materia de tecnología de energía limpia. Existe un apartado para compartir conocimientos sobre los impulsores del despliegue de los vehículos eléctricos, mejorar la visibilidad de los esfuerzos de políticas nacionales en publicaciones, acelerar el desarrollo de capacidades y el intercambio de conocimientos y experiencias, entre otros (Clean Energy Ministerial, 2023)

Tabla 2. Comparación de emisiones para combustibles

<i>Tipo de vehículo</i>	<i>Emisiones de CO2 respecto a gasolina (%)</i>	<i>Emisiones de NOx respecto a gasolina (%)</i>
Gasolina	100%	100%
Diésel	85%	377%
Vehículo eléctrico	0%	0%
GLP automático	66%	3%
Vehículo GNC	85%	5%
Biodiesel	31%	184%
Pila de combustible H2	Depende de la fuente	Insignificante

Fuente: Elaborado con datos de la (EPA, 2023).

Los AE tienen una huella de carbono menor que los VC de gasolina y diésel (tabla 2). Los costos de contaminación asociados con la gasolina y el diésel cuestan alrededor de USD 3.80 y USD 4.8 adicionales por galón en cada caso (Guardian UK, 2015). No obstante, en el caso de que la electricidad utilizada provenga de combustibles fósiles o que generen contaminación, dichos costos ambientales se elevan.

Los esfuerzos por alcanzar los acuerdos en materia medioambiental a nivel global enfrentan retos coyunturales. Un ejemplo reciente fue la invasión de Rusia a Ucrania, que ha obligado a Europa a reducir su dependencia de los hidrocarburos, lo que contrasta con la posición de Estados Unidos, quien impulsa su industria petrolera y abastece el déficit de abasto ruso.

La industria global de los vehículos eléctricos (VE)

Un VE es aquel que utiliza uno o más motores eléctricos capaces de impulsarlo, principalmente mediante baterías. Comprenden AE, autobuses de pasajero y camiones de carga de distintos tamaños. Los AE cuentan con alrededor de un 60% menos piezas que un coche convencional. Sus componentes más relevantes son su chasis, cargador, batería, convertidor, inversores, motor eléctrico, arneses y los componentes electrónicos, así como la infraestructura que permite su recarga.

Uno de los principales retos para masificar el uso de los VE es el elevado costo de las baterías, que almacenan energía para alimentar al motor. Dicho costo depende de los elementos utilizados para la reacción química dentro de cada celda y la electrónica que controla los procesos de carga y descarga. (Cepeda *et al.* 2022). Pueden ensamblarse con distintos materiales, algunos de los cuales son escasos y costosos en su explotación. Los principales tipos de baterías son: Plomo-ácido (Pb-ácido), Níquel-cadmio (NiCd), Níquel-hidruro metálico (NiMh), Ion-litio (LiCoO₂). Ion-litio con cátodo de LiFePO₄ y Polímero de litio (LiPo).

El uso de los VE demanda el impulso de la minería (litio, cobalto, cobre, hierro y aluminio, entre otros). Dos elementos se destacan como principales retos. Uno es escases de algunos minerales y su impacto en sus costos de producción. La batería más accesible y común utiliza el litio, cuya alza en la

demanda originó que el precio del carbonato de litio pasará de USD 3,870 en 2011 a alrededor de USD 50 000 a finales del 2022. El otro reto es el aumento en el consumo de energía por el conjunto de actividades ligadas a la explotación, transporte y comercialización de los minerales utilizados como insumo de las baterías. Ello tendrá un impacto negativo en el medio ambiente, no sólo en materia de emisiones de GEI, sino por las afectaciones a la naturaleza. Volvo determinó que fabricar un AE considerando todo el ciclo de vida implicó 70% más emisiones que el mismo tipo de VC (Motorpasión, 2023).

A lo anterior, se añaden los problemas sociales asociados con otros minerales utilizados para ensamblar baterías para los autos. Entre los más relevantes está el cobalto, cobre y litio. El cobalto por las afectaciones en la población por sus técnicas de obtención -Congo África- (ICTA-UAB, 2023), el cobre por las arbitrariedades de algunas empresas, por ejemplo, el caso chileno (Poveda, 2019), y en el de litio por los problemas políticos en Bolivia ante su potencial de reservas.

Las baterías tienen un periodo finito de utilidad. Depende de su frecuencia de uso y puede ser de alrededor de 10 años. Es el mayor componente del costo del AE y la principal restricción actual para incentivar su uso (vs. AC). El reciclaje de baterías es una posibilidad para acceder a algunos metales. Por ejemplo, se han explorado tres rutas principales para recuperar: piro, hidro y biohidrometalurgia (Zheng, *et al.* 2018).

Los VE demandan de conocimientos en reparación, conservación y mantenimiento, en particular para los frenos regenerativos, regeneración de la batería o cambio, revisión de fluidos, la operatividad de los sistemas automatizados, así como la reconversión de AC a AE.

La incorporación en el mercado de los AE inició con los autos que combinan un motor de combustión interna con un eléctrico para impulsarlos híbridos. Su eficiencia, confiabilidad, la creciente conciencia ambiental y la instrumentación de incentivos gubernamentales han sido los principales factores para ampliar su uso. No obstante, enfrentan retos que han limitado un mayor despegue como su alto costo inicial, el reemplazo de las baterías, el desconocimiento sobre sus beneficios medioambientales y la incertidumbre de probar nuevas tecnologías por parte de los consumidores. En 2021, el mercado global de vehículos híbridos se valoró en 324 920 millones USD,

siendo la región de Asia Pacífico el de mayor dinamismo, en particular Japón, Corea del Sur y China (Mordorintelligence, 2023).

Toyota fue la pionera en esa tecnología con la introducción del Prius en 1997. Le siguieron Honda, Kia, Hyundai, Nissan y Volkswagen. Sus planes han sido impactados con la llegada de los VE. Hay compañías como General Motors, que solo apuestan por los autos eléctricos (tabla 3).

Por su parte, el mercado de automóviles eléctricos está experimentando un crecimiento dinámico. Sus ventas superaron los 10 millones de unidades en 2022. Representaron el 14% de todos los automóviles nuevos vendidos, frente al 9% en 2021 y menos del 5% en 2020. Tres mercados dominaron las ventas globales. China con alrededor del 60% de las ventas, de los cuales 78% fueron eléctricos a batería y 12% híbridos enchufables. En Europa más del 20% de coches vendidos fue eléctrico (vs. el 1.1% 2015). Las ventas de AE en Estados Unidos, el tercer mercado más grande, aumentaron un 55% en 2022, alcanzando una participación de ventas del 8%. Hacia finales de 2023, los automóviles eléctricos podrían representar el 18% de las ventas globales totales (AIE, 2023). No obstante, el parque vehicular de AE sólo representa un poco más del 1% del parque vehicular total global.

Tabla 3. Consideraciones sobre las empresas automotrices y su relación con los VE

<i>Compañía</i>	<i>Modelos representativos</i>	<i>Perfil prioritario de inversiones</i>
Tesla	Model 3 restyling; Model X Plaid; Model S Plaid; Roadster 2023; Cybertruck	Destaca en tecnología de baterías, producción automatizada, red de carga y materiales.
General Motors	Chevrolet Bolt EV; Cadillac Lyriq; GMC Hummer EV; Chevrolet Blazer EV; Equinox EV; Cadillac LYRIQ	Ha destinado a la creación y expansión de su línea de productos eléctricos y la creación de su propia red de carga rápida.
Ford	Mustang; Mach-E F-150® Lightning	Estableció asociaciones con empresas como Rivian y VW, en ve autónomos.
Volkswagen (VW)	Volkswagen ID.4 ID. Buzz	Invertirá en la transición hacia el ve y el conectado, en infraestructura de carga y baterías de estado sólido.
BMW	BMW iX3; BMW i4. BMW iNEXT	Planea invertir hasta 30 mil millones de euros en tecnología de ve hasta 2025. En baterías de próxima generación y la expansión de la capacidad de producción.
Mercedes-Benz	AMG EQE; EQB 250+; EQB 300; EQE 350+ EQE 500	Mantiene alianzas estratégicas para desarrollar una red de carga ultrarrápida.

Nissan	Nissan Leaf Nissan ARIYA	Está invirtiendo en la expansión de producción de baterías y en la construcción de nuevas fábricas.
Toyota	bZ4X Prius Prime RAV4 Prime	Desarrolla la tecnología de celdas de combustible de hidrógeno.
Hyundai	Ioniq 5, 6 y 7 Kona Electric	Desde 2021 cuenta con su ve. Mantiene alianzas con empresas de tecnología y trabajado el tema de movilidad y baterías.
Kia	EV6	Junto con Hyundai invirtió en una empresa de carga en Europa.
Volvo	C40 XC40	Anunció su intención de ser 100% eléctrica para el año 2030 y realizar alianzas para fabricación de baterías y conducción autónoma (Waymo)

Fuente: Elaboración propia con datos de las empresas de AE.

En aras de alentar el uso de los VE, algunos gobiernos han instrumentado subsidios o excepciones de pago, su depreciación acelerada, la aplicación de impuestos al carbono, así como iniciativas para que las autoridades limiten el uso de los VC, como imponer impuestos a su uso o restricciones para no circular en ciertas áreas poblacionales o en días específicos —por condiciones de contingencia ambiental—. Otras medidas buscan alentar el uso de bicicletas, del transporte público o de mejores carreteras o caminos para reemplazar el uso de los VC. En otros casos se exploran nuevos modelos de negocio, por ejemplo, el uso del automóvil como un servicio, como renta o arrendamiento financiero.

Los principales factores que han impulsado la adquisición de los AE han sido la reducción de los costos de fabricación, la incipiente creación de infraestructura para su uso y operación, la necesidad de alentar acciones para neutralizar las emisiones pero GEI, particularmente, los subsidios gubernamentales aplicados. Algunas naciones como China y el Reino Unido están reduciendo tales subsidios en función de la diferencia entre el precio de compra de los coches eléctricos y los convencionales, aprovechando la tendencia a reducción del costo de los VE.

En general, la estrategia corporativa de incursión de los principales fabricantes de VE es variada y avanza a distinto ritmo, lo que denota prioridades de impulso. Las más dinámicas son las compañías chinas, pero resal-

tan otras como Tesla Inc., General Motors, Rivian Automotive Inc. y Lucid Group Inc. Otras están más arraigadas al mercado de los AC y avanzan a menor ritmo, entre las que resaltan BMW, Ford y Mercedes. Unas se enfocan a ensamblar automóviles más baratos o a la construcción y adaptación de plantas, la fabricación de baterías y el abasto de minerales críticos. En este último caso, no sólo las armadoras de autos participan, sino que existen otras que han logrado notable presencia en el mercado global. No sólo el mercado de consumidores alienta a las armadoras a ensamblar AE, sino que también existen modelos de negocio con enfoque a la demanda de flotas eléctricas por ejemplo, para Uber.

Otro reto para masificar el uso de los AE es el acceso a la infraestructura de carga, aun a pesar de la relevancia de algunas empresas promotoras (tabla 4). Puede ser un estacionamiento, una electrolinera o un punto de recarga público. Su disponibilidad está sujeto no sólo a espacios, sino a otras condiciones tales como al tiempo de recarga, tiempos de espera o encarecimiento de los cobros por la ubicación de los centros de recarga. Pueden ubicarse en las estaciones de servicio de gasolina y diésel, pero se requieren adecuaciones. En edificios de departamentos es inevitable crear espacios para colocar la infraestructura de recarga. Pero su adaptación implica adicionales costos en áreas comunes, complicaciones en los espacios —no siempre disponibles—, así como potenciales conflictos entre los residentes.

Retos para las naciones en desarrollo (NED) para la adopción de los VE

En la velocidad de incorporación de los VE a su parque vehicular, las NED tienen desventajas derivadas de un conjunto de factores estructurales acumulados. Su tasa de incorporación de autos nuevos es reducida y, por ende el proceso de reemplazo del parque vehicular lento. Pocas naciones reportan avances, resalta China que, paradójicamente se está convirtiendo en el mayor refinador global y también quien mayor apuesta realiza en los VE. Ha construido una industria integrada con oferta creciente, impulso a la infraestructura de carga y un marco legal en construcción.

Tabla 4. Principales empresas globales de recarga de AE

<i>Empresa</i>	<i>Nacionalidad</i>	<i>Perfil de inversiones</i>
Compleo Charging Solutions	Alemania	Promueve la capacitación técnica de la actividad.
BP Pulse	Reino Unido	Ofrece instalaciones domésticas y puntos de carga públicos.
ADS-TEC Energy	Irlanda	Ofrece soluciones de red inteligente y una plataforma basada en almacenamiento.
Blink Charging	USA	Es un operador líder de servicios de carga.
Tecnología NaaS	China	Con opciones disponibles tanto en línea como fuera de línea.
Allego	Holanda	Está acelerando la disponibilidad de soluciones de carga pública.
Wallbox	Holanda-España	Tiene un diseño minimalista que permite soluciones avanzadas.
EVgo	USA	Carga rápida de última generación y proveedor de operadores de flotas.
ChargePoint	USA	Se enfoca a buen servicio al público a través de su amplia red.
Tesla	USA	Cuenta con una red integral de carga pública para la industria y para los automovilistas

Fuente: Evmegazine (2023).

En algunos países, parque vehicular se nutre de automotores usados, importados de naciones desarrolladas, los cuales son cotizados a menor precio, ineficientes en su consumo de combustible y fuente de emisiones de CO₂. En ocasiones, no es legal ni contralado.

Otro obstáculo para masificar el uso de los AE en las NED es que las baterías son costosas. Su producción está concentrada en China, al igual que su capacidad de procesamiento y refinación de algunos de sus insumos como el litio, cobalto y grafito. Ello puede representar un riesgo por la dependencia de abasto a una sola nación. Es relevante constituir una mayor capacidad global y/o nacional de producción de baterías en las NED, así como la necesaria para su tratamiento o recuperación después de finalizar su vida útil.

La oferta de AE en ese grupo de naciones es generalmente limitada a determinadas marcas y modelos, además de cotizarse a precios por encima de los AC, situación que limita su consumo, aún a pesar de la existencia de los incentivos.

Existen compañías que mantienen negocios con la IA, las cuales operan en las NED y representan obstáculos para la introducción de los VE. Su po-

tencial desplazamiento implicaría afectaciones económicas, sociales y políticas. Tal es el caso de contar con compañías petroleras con presencia en toda o parte de la cadena de valor y/o con posesión de reservas de hidrocarburos, que son contribuyentes relevantes al erario. Ejemplo de ello son algunos de los miembros de la Organización de Países Productores de Petróleo: Arabia, Kuwait, Irán, entre otros.

Si poseen refinerías en los NED, les obligaría a instrumentar planes para adaptar su producción a la demanda de sus mercados, lo cual requerirá reconvertir sus procesos hacia la producción de otros derivados, buscar mercados alternos o bien parar operaciones.

De igual manera, pueden generarse afectaciones cuando existen empresas nacionales ensambladoras o de autopartes, susceptibles de ser desplazadas o que pierdan capacidad de suministro ante menores volúmenes de demanda.

A fin de preservar el uso de los AC, existen esfuerzos de compañías, por ejemplo, Chevron y Exxon que tratan de producir gasolinas más limpias a niveles comparables con los AE en términos de sus bajas emisiones (Energynews, 2023). Otra situación similar ocurre con la elaboración de diésel más limpio (Chevron, 2023). Sin embargo, tales medidas en general no son del todo aplicables en las NED, pues la configuración de los motores corresponde a una parte de autos con antigüedad superior a más de quince años. Además, la población busca adquirir combustibles baratos, aunque de mala calidad, dada su baja capacidad adquisitiva y porque en ocasiones no se cuenta con un marco normativo o políticas públicas que alienten el consumo de gasolina y diésel de mejor calidad.

Los costos en la generación de electricidad pueden ser un factor limitante del impulso al crecimiento en el uso de los VE en los países en desarrollo, pero su impacto está asociado a la política de sus precios al consumo. En mercados de libre competencia, los retos serán mayúsculos debido a que los precios de la electricidad deberán ser comparados con los de sus competidores (diésel y gasolina). También influirá la velocidad en el crecimiento del consumo de la electricidad, la capacidad para crear la infraestructura de generación, transporte y el perfil de la fuente de energía disponible. Esto implica el contar con una estructura de mercado, por el lado de la oferta, que se acople en tiempo y forma al crecimiento en la demanda

de electricidad. Un abasto suficiente de electricidad conlleva periodos largos de construcción de infraestructura, su financiamiento, trámites de derechos de vía y estudios ambientales, entre otros. De hecho, en algunas naciones aún es insuficiente tal suministro, lo que afecta a casi 733 millones de habitantes (Banco Mundial, 2023).

En el caso de contar con infraestructura de ensamble de VE (como en México y Colombia), son convenientes las medidas de aliento para el retiro de esos activos o bien su reconversión hacia la producción de AE, así como una reestructuración en sus canales de venta y distribución, tanto interna como con el exterior.

La vulnerabilidad en la situación de las finanzas públicas en varias NED es un tema complejo, que se combina con la existencia de amplias demandas sociales, y limita el impulso al uso de los VE o de su infraestructura, especialmente en gobiernos con presiones financieras.

En general, los AE consumidos por las NED tendrían su origen en el extranjero. En caso de que los ensamble los modelos ofertados en el mercado interno serían limitados. Las políticas comerciales de cada nación y su relación con sus industrias automotrices serían factores en la definición del abaratamiento de los AE (vs. AC).

La instalación de electrolineras es uno de los principales obstáculos para que las NED adopten el uso de los AE, especialmente por el volumen de unidades de carga y su ubicación.

Al ser una tecnología de reciente incorporación, las NED no cuentan con una base técnica de conocimiento y desarrollo para el mantenimiento del parque vehicular eléctrico.

Adicionalmente, existe un conjunto de factores que influirán en contra de la adopción de los VE en ese grupo de naciones. Entre los más relevantes se encuentran el que su población generalmente tiene un ingreso per cápita bajo; existe insuficiente capacidad de ahorro interno para el financiar la adquisición masiva de los AE y en algunos casos se enfrentan limitaciones en los esquemas de financiamiento para adquirir autos; las prioridades de la política pública hacia la atención social no siempre contempla temas sobre energía, dadas las necesidades en salud, educación y pobreza; se enfrentan obstáculos derivados de las prácticas de corrupción y políticas de grupos de interés que afecten la posibilidad de uso del AE; la decisión de

optar por el consumo de electricidad para los AE seguirá contrastándose con el nivel de los precios de las gasolinas y el diésel; sus avances en investigación y desarrollo (ID) son limitados, salvo algunas excepciones, y se centran más en la compra y asimilación tecnológica y, por lo general, no cuentan con compañías automotoras ensambladoras y de autopartes.

Para la masificación en el uso de los VE en las NED, los retos son superiores a los que enfrentan las más desarrolladas, sobre todo bajo la premisa de propiciar una transición ordenada. A pesar de ello se han promovido algunas iniciativas, pero con éxitos limitados.

Tabla 4. *Resumen de avances en VE en algunas naciones en desarrollo*

<i>País/Avances y Programas de impulso de AE</i>
<i>Qatar.</i> Construyó la mayor estación de servicio de ve para atender 500 unidades y construir 30,000 para 2027. Cuenta con una marca y estímulos para su uso e incentivar la ID.
<i>Arabia Saudita.</i> Ha anunciado su propia marca y producir 150,000 en 2026. Realiza acciones para hacerse con una provisión fuerte de materiales para AE y contará con una mina australiana que producirá en 2030.
<i>Emiratos Árabes Unidos.</i> Firmó acuerdos de cooperación con fabricantes y la Universidad Americana de Sharjah, para estimular la producción.
<i>Israel.</i> Las ventas de AE llegaron a representar el 5.2% del total de autos nuevos en 2022. El gobierno cedió medio millón de espacios de estacionamiento, para convertirlos en estaciones de recarga, en paralelo con los estímulos a su uso.
<i>Jordania.</i> Ha incursionado de manera incipiente en el mercado de autos eléctricos a través de la compañía BYD de origen china, pero su uso es incipiente y selectivo
<i>Tailandia.</i> Es productor y exportador de AE. Pretende hacer la transición del 30% de su producción AE para 2030. Es líder en ventas de VE de batería en la región Sudeste asiático. Cuenta con exención a su importación, consumo y constitución de infraestructura.
<i>Taiwán.</i> Busca alcanzar un millón de VE en circulación para 2025, y para ello ofrece incentivos fiscales, subsidios y apoyo a la infraestructura de carga. Tiene su empresa nacional ensambladora Foxtron.
<i>Corea del sur.</i> Planea reducir su precio para 2025, cuenta con exenciones de impuestos en su adquisición, descuentos en peaje, estacionamiento, de aumentar la infraestructura de carga y el apoyo a la industria automotriz. Liderar en tecnología de baterías y de hidrógeno.
<i>Indonesia.</i> El gobierno ha reducido el IVA sobre los vehículos eléctricos del 11% al 1%. Incipiente instalación de puntos de carga. Ofrece incentivos para establecer la fabricación en el mercado de automóviles más grandes del sudeste asiático.
<i>Nueva Zelanda.</i> Ha implementado incentivos financieros su consumo, como exenciones de impuestos y aranceles, descuentos en las tarifas de registro y un subsidio para la compra, expansión de infraestructura. Cuenta con planes para que el gobierno electrifique su flota.
<i>Sudáfrica.</i> Se plantearon iniciativas en 2021 para alentar la transición energética, pero los avances han sido limitados, particularmente por falta de apoyo gubernamental y su favorable capacidad de ensamble de autos convencionales. Se han planteado estímulos a su uso, a la creación de infraestructura, concientización pública y a la ID.

Argentina. Cuenta con incentivos para compra de AE y una ley para el fomento a su producción local y de baterías de litio. Su uso es incipiente, por sus precios elevados, carencia de infraestructura y confianza en su uso.

Brasil. Posee un plan para impulsar la movilidad eléctrica, el que contiene incentivos para su compra. Cuenta con mil puntos de recarga en todo el territorio y en general los precios de los ae son elevados (vs. AC). El gobierno ha aprobado incentivos fiscales.

Colombia. Ha instrumentado incentivos tributarios y no tributarios para el consumo de AE, así como de electrolinerías. Su mercado de AE es aún muy incipiente.

Costa Rica. Cuenta con exenciones fiscales para compra VE hasta el 2035, incluido IVA, por importación y otros. Cuenta con una red de carga en todo el país y una Ley para el transporte verde. Sin embargo, sus avances en electrificar su parque vehicular son limitado.

Chile. Ofrece incentivos financieros para promover la adquisición de VE, incluyendo la exención del Impuesto al Valor Agregado para la compra, reducción de aranceles a su importación, El gobierno invierte en infraestructura de carga.

Perú. El gobierno de Perú ha emitido un decreto supremo que genera incentivos para la adquisición de vehículos eléctricos, así como la construcción de la infraestructura adecuada para su funcionamiento y capacitación de especialistas para su reparación.

Fuente: Elaboración propia con base en información en la web.

Reflexiones finales

La masificación del uso de los AE a nivel global involucra intereses divergentes de los agentes económicos. Entre los más relevantes están los de la industria petrolera, la automotriz —ensambladoras y compañías de autopartes—, la preservación del medio ambiente y de la naturaleza, así como las consideraciones sociales y políticas y, particularmente, económicas. En las NED, este proceso se vislumbra complejo y estará en función de las condiciones estructurales en cada nación, por lo que se prevé un tiempo más largo que las que llevan la vanguardia, principalmente de Europa (Países Bajos, Alemania, Reino Unido, Francia y Noruega, entre otros) o de China.

La adopción de los VE en las NED demanda procesos de transición planeados por los rezagos acumulados en su estructura productiva, las limitaciones en la capacidad adquisitiva de la población y limitado involucramiento de sus gobiernos. Sólo podría acelerarse con políticas públicas planeadas a mediano y largo plazo, pero ponderando su relevancia contra la atención de otras demandas sociales e incorporando las posiciones de grupos de interés, especialmente de las empresas ligadas con el ramo y los consumidores.

Es pertinente que esas naciones construyan un marco institucional propicio para la incorporación paulatina de los AE y su óptima operación, así como atendiendo temas sensibles como los ligados al uso de la información, por ejemplo, en los sistemas autónomos o en los autos equipados con servicios conectados a la red; se apoye la creación de infraestructura para su conexión, garantizar el abasto eléctrico demandado y propiciar el desarrollo de sistemas de medición inteligente; instaurar las condiciones de negociación entre los distintos grupos de interés a fin de propiciar una transición ordenada; avanzar en distintas vertientes para migrar al uso de los VE y, en su caso, alineándose al logro de los objetivos del desarrollo sustentable que se fijaron como meta en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático; impulsar políticas públicas que alienten las capacidades técnicas para la conservación, reparación y mantenimiento de los AE, lo que demanda un proceso de maduración para la transferencia y asimilación: promover programas de concientización para el uso de los AE; incentivar la Investigación y Desarrollo Tecnológico (IDT) y el fomento de cuadros técnicos profesionales.

En etapas subsecuentes, se pueden crear programas de incentivo para el uso de los AE que ilustren sus ventajas respecto a los VC; ofrecer facilidades de financiamiento para la adquisición de los AE a costos inferiores a los de los AC; gravar el uso de los VC para desincentivar su uso y establecer condiciones para atraer inversiones para instalar plantas de ensamble y/o los componentes. En el caso de naciones con recursos minerales utilizados en el ensamble de los AE, pueden instrumentarse políticas de integración productiva con la minería.

Bibliografía

- Abotalebi, Scott, y Ferguson. (2019). Can Canadian households benefit economically from purchasing battery electric vehicles? *Transportation Research Part D*, 77, 292-302. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.10.014>
- Agencia Internacional de Energía (AIE). (2023). Oil Market Report. París: AIE.
- Azone. (24 de noviembre de 2022). The Current State of the Global Automotive Manufacturing Market. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=22236>

- Banco Mundial. (30 de junio de 2023). <https://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview>
- BANCOMEXT-NAFIN. (2022). Ficha Automotriz. CdMex.
- Basurto. (2013). Estructura y recomposición de la industria automotriz mundial. Oportunidades y perspectivas para México. *EconomíaUnam*, 75-92. doi:10.1016/S1665-952X (13)72204-7
- BP. (2023). *bp Energy Outlook 2050: January 2023*. London: BP.
- BP. (2023). *Statistical Review of World Energy*. London: BP.
- Browne. (2012). How should barriers to alternative fuels and vehicles be classified and potential policies to promote innovative technologies be evaluated? *Journal of Cleaner Production*, 35, 140-151. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.019>
- Cepeda, Stiven, Garzón, Guasumba, y Oramas. (2022). Descripción de las características de los diferentes tipos de baterías utilizadas en los vehículos eléctricos. *Polo del conocimiento*, 377 - 391.
- Chevron. (2023). https://www.chevronwithtechron.com/es_us/home/renewable-diesel-blend/renewable-diesel-blend-faqs.html#
- Clean Energy Ministerial. (2023). Clean Energy Ministerial. Obtenido de Electric Vehicles Initiative: <https://www.cleanenergyministerial.org/initiatives-campaigns/electric-vehicles-initiative/>
- Digalwar, y Rastogi. (2023). Assessments of social factors responsible for adoption of electric vehicles in India: a case study. *International Journal of Energy*, 17(2), 251-264. doi:10.1108/IJESM-06-2021-0009
- Energynews. (2023). Chevron y Exxon buscan gasolina más limpia. <https://energynews.pro/es/chevron-y-exxon-buscan-gasolina-mas-limpia/>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2023). *Compilation of Air Quality Planning and Standards (Fifth ed.)*. Washington D. C., Estados Unidos: EPA.
- Evmagazine. (10 de mayo de 2023). Las 10 empresas de carga de vehículos eléctricos más exitosas. <https://evmagazine.com/top10/top-10-most-successful-ev-charging-businesses>
- Expansión. (2022). México no es el único país que está apostando por nuevas refinerías. <https://expansion.mx/empresas/2022/06/20/nuevas-refinerias-en-el-mundo#:~:text=En%20un%20reporte%20de%20febrero,en%202.8%25%20rumbo%20a%202025>
- Guardian UK. (19 de marzo de 2015). The Guardian. Obtenido de http://27.34.244.198/NAAC_SSR_FINAL/Dhaarini/resources/7.pdf
- Instituto de Ciencia y Tecnología Ambientales-Universidades de Barcelona. (01 de mayo de 2023). Atlas de Justicia Ambiental. Obtenido de <https://ejatlas.org/conflict/kolwezi-ecological-and-sanitary-disaster/?translate=es>
- Lebeau, Mierlo, V., Mairesse, y Macharis. (2012). The market potential for plug-in hybrid and battery electric vehicles in Flanders: a choice-based conjoint. 17, 592-597.
- Mordorintelligence. (11 de julio de 2023). <https://mordorintelligence.com/es/industry-reports/hybrid-vehicle-market>

- Motorpasión. (2 de junio de 2023). <https://www.motorpasion.com/futuro-movimiento/quien-emite-co2-coche-electrico-gasolina-este-estudio-volvo-quiere-zanjar-polemica-vez-todas>
- Memorandum of Understanding (MOU). (2022). Global Commercial Vehicle Drive to Zero. Obtenido de <https://globaldrivetozero.org/mou-nations/>
- Offshore Technology. (2022). Asia dominates global refinery projects outlook by 2026. Recuperado el 30 de 05 de 2023, de <https://www.offshore-technology.com/comment/global-refinery-projects/>
- Periódico La República*. (2023). Recuperado el 3 de 7 de 23, de <https://www.larepublica.co/economia/ecopetrol-anuncio-que-se-inicio-mantenimiento-en-la-refineria-de-barrancabermeja-3650312>
- Poveda. (2019). Estudio de caso sobre la gobernanza del cobre en Chile. Santiago de Chile: Cepal.
- SyP Global. (23 de 05 de 2023). Obtenido de plattslive.com/news-and-insight/refined-products/110722-globalrefineries#_ga=2.57085987.829026646.1671446319-826465714.1659354599y_gac=1.237876932.1668504170.undefi
- She, Sun, y Xie. (2017). What are the barriers to widespread adoption of battery electric vehicles? A survey of public perception in Tianjin, China. *Transport Policy*, 56, 29-40. doi: 10.1016/j.tranpol.2017.03.001.
- Yerguin. (2022). Bumps in the Energy Transition. *Finance y Development*, 9-13.
- Zheng, Shang, Shao, y Jian. (2018). A novel real-time scheduling strategy with near-linear complexity for integrating large-scale electric vehicles into smart grid. *Applied Energy*, 1-13.

8. Los pasivos ambientales de la industria petrolera. Un estudio preliminar

MIGUEL ALVARADO CARDONA*
J. AURELIO COLMENERO ROBLES**
OBED PARDO SANTOS***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.187.08>

Resumen

Este estudio sobre los pasivos ambientales está enfocado a la industria petrolera, en los escenarios de la fuga del hidrocarburo que transportan los buques petroleros vía marítima y a las causas de los derrames y fugas en áreas terrestres. Las actividades de exploración y de extracción de petróleo en distintos estados de México los lleva a cabo Pemex, importante empresa paraestatal. A consecuencia de la extracción de este recurso energético, suelen ocurrir derrames que afectan distintas regiones agrícolas, ganaderas, humedales o manglares, principalmente en el sureste de México, en razón de su efecto son considerados como pasivos ambientales (PAM). En el periodo de 2000 a 2010, conforme a un reporte de la Profepa, se cuantificaron 1,499 derrames, así como la cantidad de 133 sitios contaminados entre los años de 2008 a 2021 en diez estados. Las causas de estos eventos se pueden atribuir al estado avanzado de corrosión, fallas de materiales, errores de operación y problemas de mantenimiento en la infraestructura. A pesar de

* Maestro en Ciencias. Profesor del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIE MAD), Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9747-260X>

** Licenciado en Biología. Analista en la Secretaría de Investigaciones y Posgrado de Instituto Politécnico Nacional (SIP-IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4959-7663>

*** Maestro en Administración y Políticas Públicas. Investigador en el Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIE MAD), Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4341-9368>

las disposiciones normativas referentes a la actividad de la industria petrolera permanecen muchos sitios que no han sido remediados por la propia paraestatal.

Palabras clave: *Pasivos ambientales, industria petrolera, exploración de petróleo, extracción de petróleo, sitios contaminados por petróleo.*

Introducción

El concepto de pasivo ambiental (PAM) tiene muchos enfoques de acuerdo con ciertos hechos históricos. En la década de los años setenta se usó el concepto en ingeniería, economía e incluso en la arquitectura. El concepto surge a partir de la Ley de Respuesta Ambiental, Compensación y Responsabilidad Ambiental (CERCLA por sus siglas en inglés). En la economía neoclásica los PAM son obligaciones con gastos futuros por actividades presentes o pasadas. Suele considerarse que los PAM son deudas por daños ambientales no incluidos en la contabilidad de la empresa. En un sentido similar, en las actividades empresariales, el pasivo representa al conjunto de deudas y gravámenes que influyen en la disminución del activo fijo. En el pasado para los economistas los daños ambientales se clasifican como “externalidades” que dañan el ambiente pero que no se hacen responsables de pagar la reparación o compensación, sino que dicha acción debe recaer en la sociedad (Russi y Martínez, 2003, p. 123). En concepto de pasivo ambiental (PAM) al parecer tienen su origen en el vocablo anglosajón *liability*, concepto que cobra popularidad a partir de la década de los años 90, a consecuencia de los impactos ambientales y daños al ambiente generados por las múltiples actividades industriales y/o agroindustriales. Lo que conlleva a establecer la responsabilidad de los causantes y con ello la obligación de reparar el daño y compensar económicamente por los efectos generados. Distintas variantes del PAM han sido establecida por Carbal, Rosales, Hernández y Martínez (2019, p. 502) mostrados en la tabla 1 con base en distintos organismos internacionales.

Tabla 1. Conceptos de PAM por organismos locales e internacionales

<i>Organismo internacional</i>	<i>Concepto</i>
a) Comisión Económica para América Latina (CEPAL)	<i>“Hace referencia a los impactos ambientales generados por las operaciones mineras abandonadas con o sin dueño u operador identificables y en donde no se hayan realizado un cierre de minas reglamentado y certificado por la autoridad correspondiente”.</i>
b) Comisión Económica Europea (CEE)	<i>“El término se aplica a los casos en que el daño es el resultado de accidentes industriales o de la contaminación gradual causada por sustancias peligrosas o desechos que ingresan al medio ambiente proveniente de fuentes identificables. Así, la responsabilidad ambiental tiene como objetivo hacer que el causante del daño ambiental (el contaminador) pague por remediar el daño que ha causado. Por tanto, la regulación ambiental establece normas y procedimientos para preservar el medio ambiente”.</i>
c) Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos	<i>“Obligación legal de hacer un gasto en el futuro por actividades realizadas en el presente y el pasado sobre la manufactura, uso, lanzamiento, o amenazas de lanzar, sustancias particulares o actividades que afectan el medio ambiente de manera adversa”.</i>
d) Organización de Naciones Unidas (ONU)	<i>“El reconocimiento de los pasivos ambientales tiene como objetivo hacer que el agente que causa el daño ambiental (el que contamina) pague por reparar el daño que han causado”.</i>

Fuente: Adaptado de Carbal *et al.* (2019).

En algunos casos particulares los daños ocasionados por una empresa deberá tener el propósito de cubrir un costo ambiental, debe considerarlo correcto y adecuado. Para que se reconozca un pasivo ambiental es preciso que la administración se haya comprometido a cubrir los costos ambientales correspondientes (NUCD, 1997, p. 9). Esta circunstancia permitió adoptar el “principio precautorio”, el cual surgió en la Declaración de Río sobre el medio ambiente y el desarrollo (Artigas, C. 2001).

Con el fin de proteger el medio ambiente, los Estados deberán aplicar ampliamente el criterio de precaución conforme a sus capacidades. Cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente. [Artigas, 2001, p. 11]

La responsabilidad como prevención es el fundamento del principio de precaución. La idea de responsabilidad implica cuatro principios que el

Tratado de Unión Europea fundamenta como: (a) la acción preventiva, (b) la corrección prioritaria ante las degradaciones o daños, (c) el principio contaminación-pagador y (d) el principio de precaución (Cafferata, 2004, p. 164). En el año de 1993, la Comisión Económica Europea (CEE) revisó dicho principio con el fin de ayudar temporalmente a las empresas en proyectos y objetivos ambientales. Los miembros de CEE aplicaron el principio para dar cumplimiento a la propuesta de “quien contaminan paga”. El lema de industria limpia mostraba la coherencia que se había establecido con las políticas de competencia mediante subvenciones, préstamos, desgravaciones fiscales, reducción de impuestos y subsidios en materia ambiental (García, 2001, p. 61). Este nuevo principio tenía un claro objetivo de evitar o reducir el efecto de la contaminación mediante el cumplimiento de nuevas normas o medidas jurídicas equivalentes. En su correcto significado no busca determinar al culpable, sino que la acción de contaminar sea reconocida y reparada (CEPAL, 1991, p. 7).

Los PAM de la industria petrolera en el mundo

La contaminación por derrame de petróleo es una de las formas más graves de daño al ambiente marino y terrestre, lo cual puede ser considerado como un PAM por la magnitud y el tiempo que permanece produciendo graves efectos tóxicos sobre el ambiente y sobre muchos organismos (Ramírez, 2021, p. 144). Los accidentes más graves lo protagonizaron los grandes buques petroleros como el Torrey Canyon que derramó 860,000 barriles de petróleo frente a las costas de Cornwall, Inglaterra en 1967 y el Exxon Valdez, vertió unos 240,000 barriles en el Prince William Sound, Alaska en marzo de 1989. El mayor incidente ocurrió en año 1979, al derramarse 2 160 000 barriles por la colisión de los buques Aegean Caplain y Atlanlic Empress cerca de Trinidad y Tobago (Lozano, 2005, p. 52). En el año 1969, a consecuencia del accidente del buque Torrey Canyon, surge el Convenio internacional sobre responsabilidad civil de daños de la contaminación por hidrocarburos. En su instrumentación se podrá garantizar una indemnización adecuada a las personas damnificadas por contaminación por hidrocarburos. Dicha responsabilidad deberá ser objetiva y concurrente para todos

aquellos propietarios de buques, lo cual obliga a tener un seguro por daños a terceros con el propósito de cubrir los daños causados (Cabo, 2015, p. 15-16).

El petróleo en contacto con el agua marina pasa por una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, los cuales han sido compilados por Gold (2004, p. 659). Los procesos son los siguientes:

1.-*Dispersión*. Por su naturaleza hidrofóbica, el petróleo se dispersa sobre la superficie del agua, formando grandes manchas, condición que incrementa con el oleaje el área de exposición.

2.-*Fotólisis*. La luz del sol, sobre todo la ultravioleta, modifica la estructura del petróleo, formado principalmente productos de oxidación.

3.-*Emulsificación*. El viento y el oleaje forman una emulsión de agua en aceite conocida como “mouse de chocolate” que al llegar a las playas forma bolas de alquitrán comunes en los litorales.

4.-*Evaporación*. Es un proceso muy rápido, que en unas cuantas horas puede separar hasta la mitad del volumen de petróleo derramado.

5.-*Adsorción*. Por ser una sustancia hidrofóbica, el petróleo tiende a adsorberse sobre las partículas del sedimento en suspensión, así como sobre los organismos del plancton. Este proceso favorece la degradación del petróleo.

6.-*Sedimentación*. El petróleo se adsorbe sobre las partículas en suspensión, incluyendo al plancton, el cual también sedimenta.

7.-*Biodegradación*. Una serie de organismos, particularmente bacterias y hongos, pueden degradar el petróleo, de ahí que se ha desarrollado una tecnología (biorremediación) usando microorganismos para degradar “manchas de petróleo”.

Los PAM de la industria petrolera en México

En México, la actividad socioeconómica que mayor impacto ambiental negativo genera, por la naturaleza y magnitud de sus residuos, es la industria petrolera. El petróleo (no refinado) es un líquido viscoso y negro que se compone de químicos pertenecientes al grupo de los hidrocarburos. Los hidrocarburos componen la familia predominante de compuestos que cons-

tituyen uno de los grupos más contaminantes, tanto por su abundancia como por su persistencia. Básicamente son alcanos de cadena lineal (n-alcanos o n-parafinas), alcanos ramificados (en menor cantidad), ciclo alcanos (o naftenos) y cantidades variables de hidrocarburos aromáticos; en la composición química están también presentes el azufre, oxígeno, nitrógeno, níquel y vanadio (Viñas, 2005, p. 11). La extracción, manejo, distribución y transporte de este recurso origina derrames de distinta magnitud, siendo una de las principales fuentes de contaminación e impactos ambientales, ya que contiene compuestos químicos tóxicos que ocasionan daños a los ecosistemas. El efecto se refleja en la hidrósfera, litosfera y biodiversidad (Figura 1). Otro de los mayores efectos negativos puede ocurrir en las zonas costeras donde se desarrollan las actividades turísticas y pesqueras (Marcano, 2022, p. 1; Celis, 2009, p. 27).

Figura 1. Derrame de petróleo en zona costera (litosfera)



Fuente: Salvando el planeta. Contaminación por hidrocarburos. <https://kate96calderon.wordpress.com/2014/11/13/contaminacion-por-hidrocarburos/>

En los ecosistemas acuáticos marinos, en concentraciones bajas, aproximadamente 0.1 ug/g, se retarda la división celular y el crecimiento del plancton. En mayores concentraciones de 0.1 ug/g se produce la muerte de gran cantidad de especies del plancton (Viveros, 2008, p. 259). Estos efectos dañaron a muchas aves marinas (ver figura 2).

Figura. 2. Pelicano impregnado de petróleo en el Golfo de México.



Fuente: El Tiempo. El derrame petrolero más grande del Golfo de México. <https://www.eltiempo.com/mundo/latinoamerica/el-derrame-petrolero-mas-grande-del-golfo-de-mexico-hace-10-anos-486888>

Las consecuencias se reflejan también en el ámbito social, económico, y en la salud, ya que los efectos de los compuestos del hidrocarburo son tóxicos para la población humana; estos compuestos pueden ocasionar efectos mutagénicos y carcinogénicos (Zavala *et al.* 2003, p. 55). Los daños por su ingestión causan vómito, irritación de las membranas mucosas, depresión del sistema nervioso central, cianosis, taquicardia, albuminuria, hematuria, arritmia cardiaca y daños hepáticos; la ingestión de 10 ml/kg de peso corporal produce la muerte (Pérez, López, *et al.* 2019, p. 135; Viveros, 2008, p. 259).

La actividad petrolera de Pemex, la empresa paraestatal más importante de México, lleva a cabo las actividades de exploración y perforación prioritariamente en Campeche, Chiapas, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz. Tabasco representa al estado donde se lleva a cabo la mayor parte de las actividades de extracción. A consecuencia de estas actividades, durante en el periodo de 1995 a 2001, los municipios con mayores reportes por derrames de petróleo fueron Cárdenas, Huimanguillo, Cunduacán y Comalcalco. En Veracruz, el segundo estado con ambas actividades, tan sólo en el año de 2002, se reportaron 41 emergencias ambientales asociadas con el derrame de sustancias peligrosas, incluyendo los hidrocarburos. Para el año de 2004 se registraron 54 fugas en ductos de Pemex, las cuales afectaron una superficie de casi 1,000 ha por el derrame de más de 36 680 barriles de petróleo. Entre las causas de las fugas son el estado avanzado de corrosión, fallas de materiales, errores de operación y problemas de mantenimiento de la infraestructura; situaciones similares ocurrieron en 2005 en las que se reportaron emergencias ambientales asociadas a fugas, derrames y explosiones (Chan, 2015, p. 4).

Por la extensa actividad petrolera hay muchos sitios que están prácticamente abandonados, información que es poco divulgada. Estos pasivos ambientales corresponden a Pemex que son sitios con permanecen sin medidas de remediación. Solo las denuncias de las comunidades permiten establecer un monitoreo cuyo objetivo es recuperar los terrenos tanto para las actividades agrícolas como pecuarias. Las investigaciones periodísticas han revelado la cantidad de sitios de Pemex no remediados. La tabla 2 muestra la cantidad de sitios y la entidad federativa.

Tabla 2. *Sitios con pasivos ambientales de Pemex que no han sido remediados (2008–2021)*

Estados de la República										Total
Veracruz	Tamaulipas	Sinaloa	BC	Tabasco	Sonora	SLP	Puebla	BCS	Edo. Mex	
67	15	9	9	9	9	6	5	2	2	133

Fuente: Linderos S. (2022, p. 59). Pemex contaminó 655 lugares en México entre 2008 y 2021 [2020]: Semarnat. Copyright [Portal web de noticias] *Gato pardo*.

Un reporte realizado por la Profepa (2014, p. 1) ha permitido también conocer el registro histórico de los sitios con derrames en el periodo de 2000 a 2010, los cuales ascendieron casi a 1,499 como se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. *Cantidad de derrames en México de 2010 a 2020*

Periodo de registro de derrames											
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Total
262	199	173	177	232	143	87	88	52	55	31	1,499

Fuente: Profepa (2014).

En otra perspectiva, el volumen de las fugas de hidrocarburos se reporta, en el periodo de 2000 a 2014; el estado de Veracruz encabeza la lista con 37,500 litros derramados, Veracruz con 29,900 litros, en Chipas con 17,100 litros, Puebla con 6,900 litros, Campeche con 1,200 litros, Tamaulipas con 5000 litros y en Nuevo León con 1000 litros (Profepa, 2014, p. 1). En un informe similar, respecto al derrame y fugas de hidrocarburos, Pemex reporta que durante el año 2001 hubo un total de 8,031 toneladas de hidrocarburos (crudo, diesel y gasolina), en su mayoría ocurrieron en el estado de Veracruz (Volke y Velasco, 2002, p. 20-21).

Los derrames en humedales y manglares

México destaca con 81 sitios de manglar de los 142 sitios tipo Ramsar. En ambas vertientes del país, 10 corresponden a la región del Pacífico norte, 6 al Pacífico centro, 13 al Pacífico sur, 27 al Golfo de México y 25 a la Península de Yucatán. Los manglares suelen ser considerados como ecosistemas de gran importancia que cumple importantes funciones ecológicas, son el hábitat de una gran cantidad de especies de gran importancia económica por el alto valor en el mercado del turismo (Rodríguez *et al.*, 2013, p. 16). Una de las graves problemáticas del derrame de hidrocarburos se presenta en muchos manglares. Los efectos sobre plántulas y especies arbóreas se relacionan con la asfixia y muerte cuando el hidrocarburo cubre los neumatóforos (raíces aéreas que realizan el intercambio de gases con la atmós-

fera). Asimismo, la vegetación de manglar puede morir por intoxicación directa, por los compuestos aromáticos de bajo peso molecular al dañar las membranas celulares de las raíces e impide el proceso normal de exclusión de la sal (Díaz y García, 2020, p. 66). Otro rasgo de la presencia de hidrocarburos en las zonas de manglar es la acumulación en los sedimentos. En el río Tonalá, situado al oeste de la ciudad de La Venta, la presencia de hidrocarburos es muy elevado, los rangos suelen ser desde 214 a 3635 ppm. Los derrames provienen de la planta de Pemex en La Venta (Gallegos, 1986).

La normatividad gubernamental acerca de las actividades de exploración y extracción

Entre los lineamientos propuestos por la Semarnat hay una serie de normas oficiales mexicanas, que tienen el propósito de salvaguardar el ambiente y las zonas agropecuarias donde se realizan las actividades prospectivas petroleras (tabla 4). Estas directrices están relacionadas con los procedimientos para la atención en contingencias ambientales por derrames durante la instalación, perforación y transporte del hidrocarburo emitidos por Semarnat, SSA, STPS y ASEA y, en particular, en las zonas de manglar.

Tabla 4. *Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que protegen el manglar y la regulación de las actividades petroleras*

NOM-022-SEMARNAT-2003	Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar.
NOM 115-SEMARNAT-1998	Que establece las especificaciones de protección ambiental que deben observarse en las actividades de perforación de pozos petroleros terrestres para exploración y producción en zonas agrícolas, ganaderas y eriales.
NOM-117-SEMARNAT-2006	Que establece las especificaciones de protección ambiental durante la instalación, mantenimiento mayor y abandono de sistemas de conducción de hidrocarburos y petroquímicos en estado líquido y gaseoso por ducto, que se realicen en derechos de vía existentes, ubicados en zonas agrícolas, ganaderas y eriales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 29 de octubre de 2009.
NOM-149-SEMARNAT-2006	Que establece las especificaciones de protección ambiental que deben observarse en las actividades de perforación, mantenimiento y abandono de pozos petroleros en las zonas marinas mexicanas, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de enero de 2007.

NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012	Esta norma indica los límites permisibles de hidrocarburo en suelos contaminados, mencionando que no se deben generar mayores alteraciones ambientales que las producidas por el suceso que provocó la contaminación.
NOM-028-STPS-2012	Establece elementos para la organización de la seguridad en procesos que impliquen manejo de sustancias químicas peligrosas como el petróleo, con el fin de prevenir situaciones de riesgo, brindar protección a las personas, daños a los centros de trabajo y al entorno.
NOM-009-ASEA-2017	Establece medidas de seguridad en atención a la amplia red de ductos del sector hidrocarburos que se distribuye en todo el país

Fuente: Almaraz, N. (2020); Díaz, J. (2011).

Comentarios finales

Los derrames de petróleo que se ocasionan en el lugar de extracción que realizan las grandes compañías petroleras en el medio marino y terrestre tienen enormes daños en la vida acuática con graves consecuencias socioeconómicas. Paralelo a esta industria, las compañías de los grandes buques realizan el traslado del petróleo a los grandes complejos petroquímicos para su refinación. Muchos de estos viajes han terminado en grandes derrames que afectan en distintos sentidos las actividades pesqueras y recreativas. A consecuencia de estos percances se han visto afectados miles de kilómetros de playas. Los daños colaterales implican la afectación de gran cantidad de especies marinas. Al interior de las regiones costeras, los derrames tienen varios orígenes, desde las malas condiciones de las redes de los ductos de transporte hasta las fugas que ocurren por falta de supervisión. La presencia de grandes volúmenes de hidrocarburos afecta grandes extensiones de terrenos con fines agropecuarios de algunos estados del sureste de México. Esta condición ha dado origen a los PAM que la industria petrolera ha generado en nuestro país.

Bibliografía

- Almaraz, N. (2020). Percepción de la población respecto a los lineamientos aplicados ante un derrame de petróleo en un sitio afectado de Tihuatlán, Veracruz. Tesis de Especialización Ambiental. Universidad Veracruzana. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/50271/AlmarazLeyvaNidia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Artigas, C. (2001). El principio precautorio en el derecho y la política internacional. Chile. CEPAL. Naciones Unidas. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/113-62/6377/1/S01050369_es.pdf
- Cabo, A. (2015). Iniciación a los derrames de hidrocarburos. Master en Ingeniería Náutica y Gestión Marítima. España. Universidad de Cantabria. <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/7506/Aitor%20Cabo%20Rivera.pdf?sequence=1>
- Cafferatta, N. (2004). Introducción al Derecho Ambiental. México. Instituto Nacional de Ecología. Semarnat.
- CEPAL. (1991). El principio "quien contamina, paga". Chile. Naciones Unidas.
- Carbal, A., Rosales, C., Hernández, A. y Martínez, L. (2019). Una aproximación conceptual al término pasivos ambientales: una propuesta para su puesta en práctica. *Panorama Económico* 27(2), 497-509. https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/10213/10_Carbal%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chan, J. (2015). Evaluación de la degradación de hidrocarburos totales del petróleo por bioestimulación con abonos orgánicos asociados a especies arbóreas. Tesis de Maestría. Tabasco, México. Colegio de la Frontera Sur. https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/1490/1/100000014345_documento.pdf
- Díaz, J. (2011). Una revisión sobre los manglares: características, problemáticas y su marco jurídico. Importancia de los manglares, el daño de los efectos antropogénicos y su marco jurídico: caso sistema lagunar de Topolobampo. *Ra-Ximahi*, 7(3), 355-369. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46121063005>
- Díaz, L. y García, T. (2020). El manglar frente a los derrames de hidrocarburos en México: un enfoque desde el derecho. *Revista de la Escuela Jacobea de Posgrado*, 18, 63-78. <http://revista.jacobeas.edu.mx/>
- Gallegos, M. (1986). *Serie medio ambiente en Coatzacoalcos. Volumen III. Petróleo y manglar*. México. Centro de Ecodesarrollo.
- García, T. (2001). Perspectiva jurídica quien contamina paga. *Dereito, Revista Xuridica da Universidade de Santiago de Compostela*, 10(1), 49-69. https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/7732/pg_051-072_dereito10-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lozano, N. (2015). Biorremediación de ambientes contaminados con petróleo. *Tecnogestión*, 11(1), 51-55. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/4326/6317>

- Marcano, Deana (Ed.). (2022). *Efecto de los derrames de hidrocarburos en el ambiente. Recomendaciones para su mitigación*. Caracas, Venezuela. Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. <https://usbnoticias.usb.ve/post/61346>
- Pérez, Y., López, S., Rodríguez, A. y Ramos, S. (2019). Evaluación de impacto socioambiental, por derrame de petróleo de un ducto en Comalcalco, Tabasco. *Journal of Basic Sciences*, 5(15), pp. 134-152. <https://revistas.ujat.mx/index.php/jobs/article/view/3574>
- Ramírez, A. (2021). Análisis de los derrames de hidrocarburos procedente de buques y su gestión en el Perú. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 24(48), 143 – 152. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.21770>.
- Rodríguez, M., Troche, C., Vázquez, A., Márquez, J., Vázquez, B., Valderrama, L., Velázquez, S., Cruz, M., Ressler, R., Uribe, A., Cerdeira, S., Acosta, J., Díaz, J., Jiménez, R., Fueyo, L. y Galindo, C. (2013). Manglares de México/ Extensión, distribución y monitoreo. México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2014/02/Manglares-de-M%C3%A9xico-Extensi%C3%B3n-distribuci%C3%B3n-y-monitoreo.pdf>
- Russi, D. y Martínez-Alier, J. (2003). Los pasivos ambientales. Íconos, *Revista de Ciencias Sociales* 15, 123-131. <https://www.redalyc.org/pdf/509/50901513.pdf>
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (NUCD). (1997). Contabilidad financiera y presentación de informes ambientales por las empresas. Ginebra, Suiza. Naciones Unidas. <https://unctad.org/system/files/official-document/c2isard2.sp.pdf>
- Viñas, M. (2005). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica (Tesis de Doctorado). Barcelona, España. Universitat de Barcelona. https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/2396/TESIS_MVINAS_CANALS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Viveros, A. (2008). Hidrocarburos. En Lilia A. Albert (Ed.). *Curso básico de toxicología ambiental*. México. Limusa. pp. 247-265.
- Volke, T. y Velasco, J. (2002). Tecnologías de remediación para suelos contaminados. México. Instituto Nacional de Ecología-Semarnat.
- Zavala, J., Botello, A., Adams, R. y Ruiz, A. (2003). Hidrocarburos alifáticos, y aromáticos en las tierras. En: J. Zavala C., M. C. Gutiérrez C. y David J. Palma L. (editores). *Impacto ambiental en las tierras del campo petrolero Samaria, Tabasco*. Villahermosa, Tabasco, México. Colegio de Postgraduados.

Sobre los autores

Miguel Alvarado Cardona

Maestro en Ciencias. Profesor del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEEMAD), Instituto Politécnico Nacional, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9747-260X>

RESEARCH GATE: <https://www.researchgate.net/profile/Miguel-Cardona-9>

Mariana Marcelino Aranda

Doctora en Ciencias de la Administración. Profesora investigadora de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas (UPIICSA), Instituto Politécnico Nacional, México.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4997-0617>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.es/citations?user=FALeIlUAAAJ-yamp;hl=es>

Lucio Barrueta Durán

Doctor en Políticas Públicas. Profesor de la ESCA-ST, Instituto Politécnico Nacional. México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7379-222X>

RESEARCHGATE: <https://www.researchgate.net/profile/Lucio-Barrueta-Duran>

ACADEMIA: <https://independent.academia.edu/LucioBarruetaDur%C3%A1n>

Alejandro D. Camacho Vera

Doctor en Ciencias Biológicas. Profesor investigador de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB), Instituto Politécnico Nacional, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4791-1912>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.es/citations?user=3xa5BtsAAAAJ-yamp;hl=es>

RESEARCHGATE: <https://www.researchgate.net/profile/Alejandro-Camacho-8>

J. Aurelio Colmenero Robles

Licenciado en Biología. Analista en la Secretaría de Investigaciones y Posgrado (SIP-IPN)/Beca SIBE-COFAA, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4959-7663>

RESEARCHGATE: <https://www.researchgate.net/profile/Colmenero-Aurelio>

ACADEMIA: <https://independent.academia.edu/AurelioColmeneroRobles>

María del Carmen Martínez Cuevas

Licenciada en Ingeniería Industrial. Estudiante investigadora de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas, Instituto Politécnico Nacional-UPIICSA, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3318-2333>

María Concepción Martínez Rodríguez

Doctora en Política Pública. Profesora en el Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD), del Instituto Politécnico Nacional. México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3094-5411>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.com/citations?user=NByc9WU-AAAAJ>

RESEARCH GATE: <https://www.researchgate.net/profile/Maria-Martinez-Rodriguez-2/2>

ACADEMIA: <https://independent.academia.edu/Mar%C3%ADDaConcepci%C3%B3nMart%C3%ADnezRodr%C3%ADguez>

Dulce María Monroy Becerril

Maestra en Ciencias. Profesora e investigadora de la ESCA-ST del Instituto Politécnico Nacional. México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0787-5577>

RESEARCH GATE: <https://www.researchgate.net/profile/Dulce-Monroy>

ACADEMIA: <https://independent.academia.edu/DulceMar%C3%ADamonroyBecerril>

Christian Muñoz Sánchez

Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor e investigador de la ESCA-ST, Instituto Politécnico Nacional, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8692-4252>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.com/citations?user=UIHvbkAAAA-Jyhl=es>

RESEARCH GATE: https://www.researchgate.net/profile/Christian_Munoz11

ACADEMIA: <https://independent.academia.edu/CHRISTIANMu%C3%B1oz-S%C3%A1nchez>

Héctor Guadalupe Ramírez-Escamilla

Ingeniero ambiental. Estudiante del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIIEMAD), Instituto Politécnico Nacional, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9440-4644>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.com/citations?hl=esyauthuser=1yuser=fyJvKSQAAAAJ>

RESEARCH GATE: <https://www.researchgate.net/profile/Hector-Ramirez-Escamilla>

ACADEMIA: <https://ipn.academia.edu/HectorRamirezEscamilla>

Jorge Alejandro Silva Rodríguez de San Miguel

Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor de la ESCA-ST del Instituto Politécnico Nacional.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0961-4696>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.com.mx/citations?user=9N6rHcgAAAAJyhl=en>

RESEARCH GATE: <https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Alejandro-Silva-Rodriguez-De-San-Miguel>

Diego Domínguez-Solís

Ingeniero Ambiental. Estudiante del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD), Instituto Politécnico Nacional, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8402-5157>

RESEARCH GATE: <https://www.researchgate.net/profile/Diego-Dominguez-Solis>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.com/citations?user=Ea3jXgkAAAA-Jyhl=es>

ACADEMIA.EDU: <https://independent.academia.edu/DiegoDominguezSolis>

Eugene Hakizimana

Doctor en Ciencias Económicas. Profesor e investigador de la ESCA-ST del Instituto Politécnico Nacional, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1804-1516>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.com/citations?user=MzUGjvQAA-AAJ>

RESEARCH GATE: <https://www.researchgate.net/profile/Eugene-Hakizimana>

ACADEMIA: <https://ipn.academia.edu/EugeneHakizimana>

Esteban Martínez Díaz

Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor e investigador de la ESCA-ST del Instituto Politécnico Nacional, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9088-0114>

RESEARCHGATE: <https://www.researchgate.net/profile/Esteban-Martinez-Diaz>

ACADEMIA: <https://independent.academia.edu/EstebanMart%C3%ADnez-D%C3%ADaz>

Obed Pardo Santos

Maestro en Administración y Políticas Públicas. Investigador en el Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD), Instituto Politécnico Nacional, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4341-9368>

Daniel Romo Rico

Doctor en Ingeniería con Especialidad en Economía de la Energía en la Universidad Nacional Autónoma de México. Obtuvo el grado de Maestría en Ingeniería Económica y Financiera en la Universidad La Salle y el de Licenciatura en Economía en la Universidad Autónoma Metropolitana. Se ha desempeñado como investigador en la Evaluación de proyectos, estudios de Coyuntura Económica y Planeación Estratégica en el Instituto Mexicano del Petróleo. En la actualidad ejerce como profesor investigador de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Ticomán del Instituto Politécnico Nacional.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4672-7988>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.com.mx/citations?user=0yzj03AAA-AAJyhl=es>

RESEARCHGATE: <https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Romo-Rico>

ACADEMIA: <https://independent.academia.edu/DanielRomoRico>

Roberto Rosales Vivar

Estudiante de Doctorado en Ciencias Administrativas, Escuela Superior de Comercio y Administración Santo Tomas, Instituto Politécnico Nacional, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1196-4844>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=A-Muc-wwAAAAJ>

ACADEMIA: <https://ipn.academia.edu/RobertoRosales>

Traducción de datos duros científicos a incidencia socioambiental en México de María Concepción Martínez Rodríguez y Dulce María Monroy Becerril (coord.) publicado por Ediciones Comunicación Científica, S. A. de C. V., se terminó de imprimir en enero de 2024, en los talleres de Litográfica Ingramex S.A. de C.V., Centeno 162-1, Granjas Esmeralda, 09810, Ciudad de México. El tiraje fue de 500 ejemplares impresos y en versión digital en los formatos PDF, EPUB y HTML.

La presente obra expone ante los lectores en 8 capítulos cómo los datos científicos que son generados en las diversas investigaciones son capaces de incidir en la sociedad cuando estos son interpretados contextualmente, se enseña como se pueden conectar todos los diferentes actores para generar capacidades que promuevan el cambio desde abajo con una base científica como brújula de la acción global para solucionar los diferentes problemas locales y nacionales. El presente libro abona en la importancia de darle vida a los datos científicos para lograr un bienestar en la sociedad cumpliendo con esto la misión básica de la ciencia.



Dimensions



María Concepción Martínez Rodríguez es doctora en Política Pública por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey ITESM. Actualmente es Profesora investigadora de tiempo completo del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo del Instituto Politécnico Nacional. Es miembro del SNII del CONAHCYT. Autora de publicaciones a nivel nacional e internacional. Sus líneas de investigación son políticas públicas, gobernanza, gestión ambiental y desarrollo sustentable.



Dulce María Monroy Becerril es doctoranda en Administración Pública por el Instituto de Estudios Superiores en Administración Pública, maestra en Relaciones Interinstitucionales por el Instituto Superior de Estudios Prospectivo, cuenta con la especialidad en Prospectiva por el Instituto Superior de Estudios Prospectivos. Es autora de artículos de investigación y de capítulos de libro. Ha dirigido alumnos de licenciatura y de maestría. Actualmente es jefa de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESCA unidad Santo Tomás.



DOI.ORG/10.52501/CC.187



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Politécnico Nacional
"La Técnica al Servicio de la Patria"



COMUNICACIÓN CIENTÍFICA PUBLICACIONES ARBITRADAS

HUMANIDADES, SOCIALES Y CIENCIAS
www.comunicacion-cientifica.com

ISBN-13: 978-607-59988-9-3



9 786075 998893