

Innovación y gobernanza para el desarrollo sustentable en México



María Concepción Martínez Rodríguez
Dulce María Monroy Becerril
(coordinadoras)



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



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

Innovación y Gobernanza para el desarrollo sustentable en México

MARÍA CONCEPCIÓN MARTÍNEZ RODRÍGUEZ
DULCE MARÍA MONROY BECERRIL
(COORDINADORAS)



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.077](https://doi.org/10.52501/cc.077)




**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA** PUBLICACIONES
ARBITRADAS
HUMANIDADES, SOCIALES Y CIENCIAS

CC+
COLECCIÓN
CIENCIA e
INVESTIGACIÓN

Innovación y Gobernanza para el desarrollo sustentable en México

MARÍA CONCEPCIÓN MARTÍNEZ RODRÍGUEZ
DULCE MARÍA MONROY BECERRIL
(COORDINADORAS)



menta y

D. R. María Concepción Martínez Rodríguez, Dulce María Monroy Becerril (coords.)

Primera edición en Ediciones Comunicación Científica, 2023

Diseño de portada: Francisco Zeledón • Interiores: Guillermo Huerta

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 • infocomunicacioncientifica@gmail.com

www.comunicacion-cientifica.com  comunicacioncientificapublicaciones

 @ComunidadCient2

ISBN 978-607-59351-9-5

DOI 10.52501/cc.077



El presente libro fue elaborado en el marco del proyecto de investigación SIP :
20220811 Financiado por el Instituto Politécnico Nacional.

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.077>

ÍNDICE

<i>Introducción</i>	9
I. LA GOBERNANZA VERDE	
<i>María Concepción Martínez Rodríguez, Martín C. Vera</i> <i>Martínez, Dulce María Monroy Becerril</i>	13
II. LA RESPONSABILIDAD SOCIAL PÚBLICA EN LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA DE LA PRESA ADOLFO LÓPEZ MATEOS Y LOS RÍOS SANTIAGO Y CONCHOS EN MÉXICO	
<i>Jorge Alejandro Silva Rodríguez de San Miguel, Dulce María</i> <i>Monroy Becerril, María Concepción Martínez Rodríguez.</i>	28
III. REGULACIÓN AMBIENTAL Y FOMENTO A LAS PYMES EN MÉXICO*	
<i>Claudia Ivette Hernández García, Mariana Marcelino</i> <i>Aranda, Alejandro D. Camacho</i>	52
IV. APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA*	
<i>Alma Delia Torres Rivera, Rodrigo Florencio da Silva,</i> <i>Judith Sara Ramírez Sosa.</i>	77
V. LA SUSTENTABILIDAD EN LAS PETROLERAS INTERNACIONALES VS. PEMEX*	
<i>Daniel Romo Rico</i>	90

VI. GESTIÓN DE RECURSOS SOCIOECOLÓGICOS Y TÉCNICOS. UN CASO DE ESTUDIO DE LOS HIDROCARBUROS EN MÉXICO <i>Eugene Hakizimana, Esteban Martínez Díaz,</i> <i>Cristina Garibay Bagnis</i>	113
--	-----

Introducción

El propósito de este libro es estudiar y analizar la manera como se puede dar la innovación y la gobernanza para el desarrollo sustentable en México. A lo largo de seis capítulos esbozamos las ideas desde diferentes puntos de vista que enriquecen la obra presentada aquí.

En el capítulo I abordamos diferentes aspectos de cómo se forma la gobernanza verde y damos a conocer la necesidad que tienen los gobiernos de buscar aliados en sus tareas, sobre todo en el contexto ambiental, para resolver los diferentes problemas que se están generando y avanzar en los convenios internacionales, tanto en la agenda del cambio climático como en el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible. En consecuencia se dan a conocer las diferentes estrategias tanto del gobierno y las empresas como de la sociedad civil, con base en corregulación, innovación, ecoinnovación, emprendimiento verde, compras verdes, ciclo de vida, redes sociales, etc., para el diseño de políticas públicas e instrumentos de “abajo hacia arriba”, y un mayor compromiso con el entorno. Algunos enfoques en el campo de la gobernanza verde nos llevan a considerar que se necesita trabajo académico para establecer puentes teóricos entre la regulación y el emprendimiento verde para la mejora ambiental.

En el capítulo II tratamos el tema de “la responsabilidad social pública en la contaminación del agua de la presa Adolfo López Mateos y los ríos Santiago y Conchos en México”, en el que se aborda el sexto objetivo relacionado con el agua limpia y el saneamiento, de los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, en la meta 6.3,

que indica que es necesario mejorar la calidad del agua reduciendo el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos. En México, la presa Adolfo López Mateos y los ríos Santiago y Conchos se encuentran entre las fuentes de agua más importantes del país, pero altamente contaminadas. En este sentido, el objetivo de esta investigación es analizar la responsabilidad social pública en la contaminación de estos cuerpos de agua para su mejora. Se utiliza el método PRISMA para la revisión sistemática de la literatura sobre el tema. Los resultados se enfocan en los aspectos ambientales de la rendición de cuentas en el marco de la responsabilidad social pública y muestran que la contaminación en los tres cuerpos de agua es generada por efluentes industriales o municipales. Esto implica que no existe un adecuado cumplimiento normativo. Entre las recomendaciones para la mejora destaca el control eficiente de las descargas residuales, la construcción de plantas de tratamiento de aguas y las evaluaciones de impacto ambiental.

En el capítulo III sobre la regulación ambiental y el fomento a las pymes en México, explicamos que las pymes en México aportan 52% del PIB y generan alrededor de 70% del empleo formal. Estas empresas utilizan grandes cantidades de energía e insumos que provienen de los recursos naturales y causan un impacto ambiental multinivel. Por otro lado se tratan los compromisos adquiridos por nuestro país en el marco de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. El objetivo de este trabajo es conocer las políticas públicas, los apoyos y la normatividad en materia ambiental relacionada con las pymes. Desde la década de 1980 se estructura un marco regulatorio basado en el artículo 25 constitucional, en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y, al menos, en 13 leyes federales y sus correspondientes ordenamientos estatales y municipales. En el comercio internacional, las pymes requieren certificaciones ambientales. Sin embargo, en general, en México carecen de los elementos para cumplir la normatividad ambiental, lo que les resta competitividad y les restringe acceso a mercados y a financiamiento. Para atender las necesidades de las pymes el Estado debe implementar políticas públicas e instrumentos que funcionen en la práctica, por lo cual se han desarrollado mecanismos de apoyo para este sector que van desde incentivos fiscales hasta soporte financiero y técnico, aunque la cobertura es limitada.

En el capítulo IV abordamos las aplicaciones de la inteligencia artificial en la transición energética. El objetivo de este estudio es describir el conjunto de aplicaciones de la inteligencia artificial (IA) en la transición hacia el uso de la energía con sistemas más inclusivos y sostenibles. Con este fin el diseño metodológico se ajustó a la realización de un mapeo bibliográfico para identificar las publicaciones más influyentes entre 2007 y octubre de 2022. El primer paso fue la identificación de la literatura para su selección y para la depuración de datos. Lo siguiente fue producir un mapa de citas usando *bibliometrix scopus* para análisis y síntesis. Entre los hallazgos de la investigación destacan las aplicaciones de la IA en tres áreas del sector energético: optimización de redes inteligentes, optimización de servicios confiables de suministro de energía y tendencias del análisis para el control en la transición energética.

En el capítulo V formulamos la siguiente alternativa para reflexionar al respecto: “La sustentabilidad en las petroleras internacionales vs. Pemex”. El desarrollo de la humanidad conlleva la necesidad de la utilización de la energía. Las actividades realizadas para su acceso son múltiples, de amplio espectro, y originan fenómenos como la contaminación ambiental y el deterioro en la naturaleza. La implementación de acciones para limitar esos fenómenos es una demanda creciente a nivel global, lo que ha llevado al emprendimiento de iniciativas nacionales e internacionales. Una de las mayores fuentes de contaminación es la industria petrolera, tanto directa como indirectamente. En el primer caso, en el proceso de desarrollo de sus operaciones en toda su cadena de valor, se emiten gases de efecto invernadero (GEI) y en ocasiones se produce la contaminación de suelos y agua, así como la afectación de los paisajes y la vegetación en los tendidos de la infraestructura. En el segundo caso, se pueden caracterizar dos tipos. Uno derivado de los efectos del consumo de energía de sus proveedores, y el otro, a través de los derivados de los hidrocarburos que ofrecen las compañías en el mercado, principalmente en el transporte y la electricidad. Se estima que las empresas del sector energético son fuentes de esas emisiones con dos terceras partes del global industrial. A lo largo de este capítulo damos la información suficiente para que el lector dé respuesta al dilema inicial.

Para el cierre de nuestro trabajo el capítulo VI trata sobre la gestión de recursos ecológicos, sociales y técnicos. La gestión de los recursos socioe-

cológicos y técnicos involucra un sistema complejo que afecta el proceso de la toma de decisiones adecuadas para la sustentabilidad. Éste se observa en el caso de los hidrocarburos en México, donde se han convertido en un campo de batalla clave en el impulso del gobierno federal para aumentar el control de estos recursos. El presente capítulo estudia los hidrocarburos como recursos socioecológicos, como se convierten en un problema socioecológico complejo; explica cómo se ha solucionado este problema a lo largo del tiempo, y por último como surgen las innovaciones en el proceso de la gestión de este tipo de recursos. Aquí se utiliza el contexto y el método del marcoteórico de los sistemas socioecológicos, según E. Ostrom, para el análisis de la complejidad de estos recursos. El capítulo está dividido en los siguientes temas: *i*) recursos socioecológicos y su contexto en los hidrocarburos en México, *ii*) sistemas socioecológicos de los recursos, *iii*) sistemas de recursos socioecológicos de los hidrocarburos, *iv*) desarrollo técnico de los hidrocarburos como sistema de los recursos socioecológicos y *v*) innovación para la sustentabilidad de los recursos hidrocarburos en México.

Este libro forma parte de una serie de trabajos que se están realizando sobre el tema ambiental, sustentable, de desarrollo y de gobernanza. Son estudios con un enfoque práctico y casos de estudios que consideramos son muy pertinentes y necesarios en estos momentos tanto a nivel nacional como internacional. No se puede seguir ignorando el tema ambiental en la toma de decisiones de los diferentes niveles de gobierno. Esperamos que el lector, al término de la obra, aplique sus conocimientos a la mejora de su entorno.

MARÍA CONCEPCIÓN MARTÍNEZ RODRÍGUEZ
DULCE MARÍA MONROY BECERRIL
Coordinadoras

I. La gobernanza verde*

MARÍA CONCEPCIÓN MARTÍNEZ RODRÍGUEZ¹

MARTÍN C. VERA MARTÍNEZ²

DULCE MARÍA MONROY BECERRIL³

Resumen

En la actualidad los gobiernos se ven en la necesidad de buscar aliados en sus tareas, y en la parte ambiental no es la excepción; se está consciente de que para lograr un desarrollo sustentable en la toma de decisiones se debe consultar a los diferentes actores. La corregulación de los gobiernos, la sociedad y las empresas es lo de hoy.

Los diferentes problemas con los que se enfrentan los gobiernos para estar en constante relación con sus sociedades y sus empresas conllevan a diversas complicaciones; por ejemplo, la emisión de una serie de regulaciones ambientales que poca o nula relación tienen con su entorno. El futuro para el cuidado del medio ambiente se encuentra en una amplia participación de gobierno, sociedad y empresas, realizando una serie de acciones en las que las políticas sean de abajo hacia arriba: las empresas participan y en cierta forma la sociedad vigila que cumplan, indepen-

* Este capítulo deriva del proyecto de investigación SIP 20220811, el cual es desarrollado y financiado por la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional.

¹ Doctora en Política Pública. Profesora-investigadora del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEEMAD), Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3094-5411>

² Doctor en Gobierno y Administración Pública. Profesor-investigador de la Universidad Autónoma de Baja California (campus Tijuana), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3415-9357>

³ Maestra en Relaciones Interinstitucionales. Profesora-investigadora de la Escuela Superior de Comercio y Administración (unidad Santo Tomás), Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0787-5577>

dientemente de que el gobierno supervisan, pero puede contar con la ayuda de la sociedad creando canales para que esta opine sobre el cumplimiento o el incumplimiento de las acciones impuestas por el gobierno a las empresas.

***Palabras clave:** participación ciudadana, desarrollo sustentable, cambio climático, políticas públicas.*

El emprendimiento verde ayuda a aliviar la degradación ambiental y el cambio climático, implementando actividades innovadoras relacionadas con el desarrollo sustentable, esto da como resultado una regulación ambiental “ascendente” y una gobernanza ambiental que tiene un mayor efecto positivo y que no sólo se limita a prácticas de regulación gubernamental.

Un emprendimiento verde implica utilizar las redes sociales para medir las demandas públicas de protección ambiental y que la demanda social de protección ambiental es propicia para la gobernanza verde. El intercambio de conocimientos e información promovería la capacidad de innovación, así como el aumento en la inversión en investigación y desarrollo y el lanzamiento de productos ecológicos. Estas iniciativas promueven la transformación del desarrollo verde. En el presente trabajo esbozamos algunas acciones que ayudan a promover una gobernanza verde, desde los diferentes sectores de la sociedad como seguimiento o como ideas por implementar, para llegar con la gobernanza verde a un desarrollo sostenible y al cumplimiento de los acuerdos internacionales.

Algunos enfoques en el campo de la gobernanza verde nos llevan a considerar que se necesita trabajo académico para establecer puentes teóricos entre la regulación y el emprendimiento verde para la mejora ambiental.

La evolución de lo verde

Las tres etapas que ha vivido la civilización humana son: primitiva, agrícola e industrial. Cada etapa del desarrollo humano está íntimamente relacio-

nada con la naturaleza. Después de entrar en el periodo de la civilización industrial la humanidad gradualmente formó una mentalidad maestra egocéntrica y cambió la naturaleza a su voluntad, intensificando el conflicto entre la propia humanidad y la capacidad natural de carga ambiental. Los problemas ambientales, como el calentamiento global, la escasez de recursos, la contaminación ambiental y la degradación ecológica se han vuelto cada vez más graves, lo que ha llevado a las personas a repensar y comprender la situación de la humanidad en la naturaleza y la relación entre el desarrollo económico y el medio ambiente (Li, Xu y Zheng, 2018).

Con base en estudios previos sobre los límites de crecimiento, el Club de Roma y, en los últimos años, en septiembre de 2015, las Naciones Unidas (ONU) celebraron una “cumbre sobre el desarrollo sostenible” y aprobaron los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) globales 2016-2030. La ONU estableció un conjunto de ODS integrados, que consta de 17 objetivos y 169 subobjetivos de diversas dimensiones de la economía, la sociedad y el medio ambiente, para orientar el desarrollo sostenible de todas las regiones, incluidos los países desarrollados y en desarrollo, en los próximos 15 años (2016-2030). En diciembre de 2015, unas 195 representantes llegaron a un acuerdo histórico en París, Francia. A través del Acuerdo de París, los seres humanos reconocieron que la ecología natural podría ser devastada y se debería instituir una nueva gobernanza verde.

La gobernanza, como un arreglo institucional, se utiliza para reconciliar las relaciones conflictivas de las partes interesadas, lo que beneficia la acción conjunta entre ellas. Como resultado de un proceso conjunto de decisión y acción de gobernanza, la innovación abierta consiste en esencia en integrar y utilizar eficazmente los recursos, responder a las externalidades de éstos y de los problemas ambientales y equilibrar los intereses económicos y la responsabilidad social, pues todos aportan desde sus diferentes visiones, lo cual enriquece los procesos y brinda la posibilidad de explorar los múltiples temas, el mecanismo sinérgico y el modo de innovación abierta de la gobernanza verde.

Aunque los académicos se han dado cuenta gradualmente de que la búsqueda humana de capital y riqueza es el mayor obstáculo para el desarrollo sostenible, pocos estudios han prestado atención a la coordinación entre los deseos humanos y el medio ambiente natural desde la perspectiva

de la gobernanza. Como parte importante del marco de la gobernanza verde, la estructura de una gobernanza adecuada pueden restringir el comportamiento egoísta de los seres humanos y proporcionar ideas para romper el dilema de investigación existente sobre el desarrollo sostenible.

Los diferentes problemas con los que se enfrentan los gobiernos para estar en constante relación con sus sociedades y sus empresas lleva a diferentes decisiones. En los últimos años se puede observar el crecimiento acelerado de lo verde, en todos los ámbitos: en el gobierno, en la sociedad, y en las empresas. La característica de lo anterior es que se está dando mediante una corregulación; por ejemplo, los gobiernos nacionales y locales han emitido una serie de regulaciones ambientales para restringir el impacto ambiental de las empresas. Por otro lado, las iniciativas entre las instituciones sociales se han fortalecido para ejercer una regulación no pública sobre las empresas altamente contaminantes, “de abajo hacia arriba”, a través de canales de supervisión de la iniciativa y de la autorregulación; sin embargo, algunas instituciones locales aún carecen de la fuerza de monitoreo para que las empresas persigan el crecimiento económico regional y sobrevivan a la competencia.

Algunas respuestas de las empresas van dirigidas a las iniciativas de cultivar la responsabilidad social corporativa y el espíritu empresarial basado en la responsabilidad social empresarial para lograr las mejoras ambientales.

La “responsabilidad social empresarial” es un término ampliamente discutido por las empresas. Algunas mencionan que es una colección de obligaciones esperadas por la sociedad; otras sostienen que es una obligación social de las empresas para satisfacer las necesidades de moralidad y ética. No importa si no hay un acuerdo respecto de la idea de asumir una responsabilidad social por parte de las empresas que realizan acciones prácticas para subsanar externalidades negativas, ya que dentro de esta tarea se encuentra la innovación sostenible. Con el desarrollo de la responsabilidad social, las empresas pueden mantener la operación y el crecimiento sostenible para alcanzar los ODS propuestos por las Naciones Unidas.

Las cuestiones ambientales han motivado aún más los estudios sobre el desarrollo sostenible. El objetivo común es promover el desempeño ambiental y lograr el desarrollo sostenible junto con el crecimiento sosteni-

ble; se ha propuesto el emprendimiento sostenible orientado al medio ambiente para aliviar la degradación ambiental y el cambio climático.

El emprendimiento verde es similar a la implementación de actividades innovadoras relacionadas con el desarrollo sostenible. Muchos académicos han realizado investigaciones exploratorias y han considerado el emprendimiento verde como un medio eficaz para resolver problemas ambientales. Teniendo en cuenta las características comunes de la responsabilidad social empresarial (RSE) y el emprendimiento sostenible, el emprendimiento verde es similar al emprendimiento basado en la RSE.

La relación entre la regulación pública y el emprendimiento verde o basado en la RSE implica una regulación ambiental “ascendente”, pues cambia el comportamiento de emisión de contaminación de las empresas, el consumo de recursos empresariales y los comportamientos de gobernanza ambiental (Martínez, 2015) que cultivan el espíritu empresarial basado en la RSE, el cual muestra que la percepción de las prácticas, políticas y contramedidas de regulación pública tienen un mayor efecto positivo en el emprendimiento verde. Aunque los estudios han confirmado que las prácticas de regulación gubernamental juegan un papel importante en la promoción del control de la contaminación dentro de las empresas, la gobernanza ambiental no se limita a las prácticas de regulación gubernamental, sino que participa en el diseño, la implementación y la evaluación de esta regulación.

La participación de la regulación no pública en la iniciativa es fundamental para que se alcance el objetivo común de lograr un medio ambiente sostenible. Por lo tanto, la medición de las prácticas de regulación ambiental no pública es urgentemente necesaria para una mejor comprensión de la gobernanza ambiental; por ejemplo, los estudios que han medido la regulación atmosférica no pública a través de diversos enfoques, como el índice único de visitas públicas de contaminación ambiental, el índice único de datos de quejas ambientales, múltiples variables a través del número de cartas de protección ambiental y el número de sugerencias sobre el medio ambiente, todos estos instrumentos e instancias creados para una mejor supervisión del sector ambiental por parte de los diversos actores.

En la actualidad se suma la utilización de las redes sociales para medir las demandas públicas de protección ambiental de lo cual deriva que la

demanda social de protección ambiental es propicia para la gobernanza ambiental urbana. Sin embargo, la medición de la regulación ambiental social no pública todavía está en estado inmaduro, ya que depende en gran medida de la ciudadanía y que tanto está interesada en participar en los asuntos públicos y en los temas ambientales. Un número cada vez mayor de académicos confía en el poder de gobernanza de las organizaciones no gubernamentales ambientales para la medición, por ejemplo, mediante el Índice de Divulgación de Información sobre la Contaminación, un enfoque bien aceptado para medir las prácticas de regulación ambiental no pública, para lo cual requiere grupos sociales preparados en el tema y una mayor conciencia sobre la participación social, aspectos que en México estaríamos desarrollando en el futuro.

Los estudios han demostrado que la RSE y el desempeño de la gobernanza ambiental están relacionados, pero rara vez en la relación entre el espíritu empresarial basado en la RSE y el desempeño de la gobernanza ambiental los estudios existentes investigan el desempeño de la gobernanza ambiental. Faltan estudios sobre la evaluación de la gobernanza ambiental y sobre la capacidad de innovación y emprendimiento empresarial en su calidad de mecanismos verdes incorporados a la gobernanza ambiental.

El intercambio de conocimientos entre lo público, lo no público (social) y lo empresarial promueve la capacidad de innovación, siendo las empresas las que pueden ser catalizadoras al aumentar la inversión en investigación y desarrollo, lanzar productos ecológicos y explorar el mercado.

El aumento en la intensidad de la regulación ambiental influye en las empresas contaminantes para incrementar la inversión de capital en tecnología avanzada, equipos y productos innovadores, pero hace que perduren las grandes empresas y cierren las pequeñas compañías que no tienen para la inversión solicitada para el cumplimiento de la regulación. Esta situación promueve la transformación del desarrollo verde, logra una situación de emisión de contaminación beneficiosa para todos y mejora el rendimiento de las empresas. Esta medida de inversión en tecnología “verde” debe ir acompañada de instrumentos de política pública diversificados que incentiven a las grandes, medianas y pequeñas empresas.

La literatura existente ha destacado el papel de la RSE en la mejora del

medio ambiente; sin embargo, hay omisiones críticas tanto en las áreas teóricas como en las prácticas con respecto a los temas relacionados. En primer lugar, aunque los estudios se han centrado en la capacidad de innovación, la RSE y otros aspectos del desempeño ambiental, pocos se han abocado al vínculo teórico entre el espíritu empresarial basado en la RSE y el desempeño de la regulación ambiental con datos de diferentes regiones. Cómo establecer el puente teórico entre la regulación y el emprendimiento basado en la RSE y la mejora ambiental podría ser fundamental para extender la investigación en el futuro. La evidencia empírica de la relación mencionada podría tener mayores implicaciones para futuras regulaciones. En segundo lugar, las prácticas de regulación ambiental involucran tanto las políticas de regulación pública gubernamental como las prácticas de sensibilización e iniciativas de regulación social no pública, junto con la transición de los desarrollos de regulación ambiental. Pocos estudios han aclarado las regulaciones públicas y no públicas e investigado cómo estas dos regulaciones han contribuido al cultivo empresarial basado en la RSE. Es importante destacar que el efecto mediador detallado del espíritu empresarial basado en la RSE en el desempeño de la regulación ambiental, a través de prácticas de regulación públicas y no públicas, sigue sin estar claro y es de gran importancia para la futura regulación ambiental.

Las empresas tienden a promover la transformación empresarial con una mayor inversión en innovación tecnológica, estimulación en actividades de innovación y crecimiento de productos innovadores a largo plazo. La regulación a largo plazo estimula la RSE y el emprendimiento verde para las empresas.

Por parte de las empresas en la gobernanza ambiental tenemos la RSE, las innovaciones verdes y la inversión en investigación y desarrollo; por parte de la sociedad, la supervisión a través de varios medios; entre ellos las redes sociales. Ahora veamos qué iniciativas ha desarrollado el gobierno para no quedar atrás en el esfuerzo de la gobernanza verde.

Una de las iniciativas que han surgido desde el gobierno son las compras verdes gubernamentales basadas en el costo del ciclo de vida, aunque para que esto se lleve a cabo es necesario contar con los instrumentos necesarios para la planificación de proyectos verdes. El gobierno, al implementar las compras verdes, impulsa el compromiso a nivel internacional

en torno de la reducción de los gases de efecto invernadero, y a nivel nacional, influye fuertemente en las estrategias y el comportamiento de los sectores privados y las organizaciones, obligándolos a la elaboración de diseños de generación más limpios y factibles (Khalil *et al.*, 2021).

Uno de los enfoques clave introducidos en las compras verdes es el pensamiento de perspectivas de ciclo de vida, el cual se relaciona con la política de adquisiciones ecológicas. Representa un enfoque holístico que asigna herramientas de gestión para ayudar en la toma de decisiones en las etapas de desarrollo y proyecto, incluyendo el desarrollo de productos verdes y sostenibles, la producción, las compras verdes y la disposición final.

El costo de ciclo de vida es una evaluación financiera con un enfoque de toma de decisiones que determina el costo de propiedad de una instalación. Es una herramienta útil que facilita el control del valor inicial y futuro. Un ejemplo de la aplicación del costo de ciclo de vida aplicado a la sustentabilidad es la construcción de un edificio; no sólo el diseño y la construcción de edificios sostenibles y ecológicos, sino también las operaciones de mantenimiento, reparación, reemplazo y costos de eliminación. Por lo tanto se debe tener en cuenta una implementación completa del enfoque del costo del ciclo de vida en los procedimientos de contratación y en todos los costos generados durante la vida útil de las empresas verdes (Khalil, 2021).

Las partes interesadas adoptaron un enfoque holístico para lograr una alta eficiencia en el proceso de adquisición al reconocer los costos del ciclo de vida durante la fase de planificación de los proyectos verdes.

La incorporación del costo de análisis de vida en el proceso de toma de decisiones alienta a las administraciones públicas a seleccionar hábilmente entre elementos que compiten, y a que los costos de compra, mantenimiento, renovación y operación, se tengan en cuenta y se expresan en cantidades comprables.

Las compras verdes y el costo de ciclo de vida son catalizadores y conducen tanto a políticas públicas ambientales como a estrategias de gestión de la cadena de suministro sustentable que debería adoptar el gobierno.

Para la implementación de lo anterior se tienen que resolver ciertos problemas que incluyen la escasez de datos, la falta de experiencia en técnicas de costos de ciclo de vida, los parámetros de entrada ambiguos, el

tiempo de rehabilitación y la inclusión de los costos de los factores sociales. Varios estudios de proyectos verdes en el contexto global también mostraron que el costo del análisis de ciclo de vida no se utiliza en todo su potencial debido a la escasez de datos, a la recopilación de datos inconsistentes y a la colaboración insuficiente entre las partes interesadas (costos de ciclo de vida).

Otro instrumento que hay que tomar en cuenta para la gobernanza verde es la percepción de las partes interesadas, ya que éstas son esenciales donde la toma de decisiones actúa como un proceso continuo para satisfacer las preferencias y las necesidades de los tomadores de decisiones.

El futuro se va a caracterizar por que los consumidores estarán mejor informados sobre las cuestiones que dañan al medio ambiente. Así su preferencia será por aquellos productos que son más amigables con el medio ambiente; estas decisiones las tomarán, pero más informados.

La gobernanza verde también la podemos ver en las regiones metropolitanas donde se tienen diferentes políticas de gobernanza, estrategias y herramientas, por ejemplo, para preservar y desarrollar espacios verdes. ¿Cuál es la motivación detrás de la protección y el desarrollo de los espacios verdes? ¿Cómo contribuyen las iniciativas verdes locales a detener la expansión urbana? ¿Por qué es importante movilizar a los ciudadanos en estrategias de planificación verde? ¿Cómo afecta el sistema de gobernanza la eficiencia de la planificación e implementación de la infraestructura verde?

Los diferentes niveles de gobierno necesitan una fuerte interacción para asegurar la eficiencia en la planificación e implementación de la infraestructura verde. Además, la protección y el desarrollo de los espacios verdes son guiados principalmente por la voluntad y los propósitos sociales.

Cuando una sociedad está consciente de que las áreas verdes son espacios vitales, estamos cambiando la mentalidad de la sociedad con respecto a la urbanización, lo cual nos habla de la evolución del pensamiento ambiental en la sociedad y su participación en la gobernanza ambiental.

La falta de cooperación y decisión en los espacios de protección y desarrollo conduce a cierta superposición de los documentos del plan y ralentiza el proceso de implementación. En consecuencia, la orientación de la planificación es esencialmente de arriba hacia abajo: no hay gober-

nanza. Esto conduce a más necesidades de cooperación entre los niveles de gobernanza y planificación (Linares, 2018).

Los problemas ambientales causados por el comportamiento humano se han vuelto cada vez más serios en las últimas décadas, lo que ha llevado a que el tema de la gobernanza verde global se convierta en una importante agenda de investigación. El diseño adecuado de la estructura de gobierno y la disposición del mecanismo de gobierno pueden coordinar de manera efectiva la relación entre el ser humano y la naturaleza. La literatura ha proporcionado evidencia mixta del desarrollo armonioso de la economía, la sociedad y el medio ambiente. Sin embargo, pocos estudios han examinado el equilibrio de intereses entre el atractivo humano y el entorno natural desde la perspectiva de la gobernanza. Las actividades de innovación abierta pueden lidiar de manera efectiva con las externalidades de los recursos y el medio ambiente y luego equilibrar relativamente el valor económico y el valor verde de las organizaciones, que es un modo efectivo de gobernanza verde y que refleja las características de la composición del tema principal y el funcionamiento del mecanismo de la gobernanza verde.

La construcción de un marco de gobernanza verde para la cooperación basada en el desarrollo sostenible entre empresas, gobiernos, organizaciones sociales, sociedad y naturaleza, es imprescindible. La sinergia entre el ser humano y la naturaleza mediante la presentación de un marco, que incluye teorías relacionadas con la gobernanza verde, temas de innovación, mecanismos de innovación y modos de innovación, propicia el desarrollo de lineamientos de gobernanza verde que sean adecuados para la capacidad de carga ambiental de cada país o región. Las empresas podrían usar el marco sugerido para implementar estrategias de desarrollo verde para coordinar los valores económicos y los valores verdes (Li *et al.*, 2018).

La innovación es la principal fuerza motriz para el desarrollo sostenible de la civilización humana y de la sociedad económica. En los últimos años, con la mejora continua de la globalización, el desarrollo ha traído grandes desafíos para la humanidad y cuestiones como los objetivos de la agenda de desarrollo humano sostenible de la ONU que han desencadenado la reflexión sobre el paradigma de la innovación y el desarrollo. El paradigma de la innovación tecnológica, que se centra únicamente en la tec-

nología y la economía, tiene sus limitaciones para hacer frente al proceso de cambio global. El paradigma de la innovación comienza a extenderse a la investigación científica más amplia y tiende a lograr el progreso científico y tecnológico y el crecimiento económico. Además, se ajusta a los objetivos de desarrollo de valor ecológico y satisfacción social e implica una transformación sostenible.

Otra de las iniciativas que tienen que ver con la gobernanza verde es la ecoinnovación, la cual fue presentada por primera vez por Fussler y James en 1996 en su libro *Eco-innovación: una disciplina radical para la innovación y la sostenibilidad*, que se refiere a nuevos productos y procesos que pueden reducir significativamente los impactos ambientales y agregar valor a empresas y clientes. Desde entonces, los estudiosos han aventurado diferentes opiniones. Por ejemplo, la OCDE define la ecoinnovación como “comportamientos, que intencionalmente o no, generan mejoras ambientales en comparación con otras alternativas, como productos (o servicios), producción, comercialización, estructura organizativa y arreglos institucionales nuevos o significativamente mejorados y así sucesivamente”. La ecoinnovación tiene como objetivo lograr una situación en la que todos salgan ganando, en relación con la economía y el medio ambiente, pero se centra principalmente en las empresas.

Hasta el momento lo que hemos observado es un marco tanto internacional y como nacional que inspira la implementación de la gobernanza verde para lograr un desarrollo sostenible con miras al cumplimiento de los objetivos del desarrollo sostenible, desde iniciativas empresariales como la corregulación, la responsabilidad social empresarial, el emprendimiento verde, la innovación, la investigación y el desarrollo; desde la sociedad con la participación en la construcción de índices para la medición del desempeño ambiental, en las redes sociales, en el diseño de abajo hacia arriba de las políticas e instrumentos, y desde el gobierno las compras verdes, la inclusión del ciclo de vida y las políticas de arriba hacia abajo.

La gobernanza verde es un campo emergente que atrae cada vez más la atención de los académicos y se convierte gradualmente en el centro de la formulación de políticas de los gobiernos. El desarrollo de la gobernanza verde a menudo se ve limitado por la definición poco clara de las responsabilidades de varios sujetos. Como resultado, la práctica actual de la

gobernanza verde a menudo se limita a la producción verde espontánea, a la gestión verde, a la cadena de suministro verde y a la administración verde. La gobernanza verde basada en la innovación abierta tiende a romper los límites organizacionales, coordinar la relación entre múltiples sujetos de gobierno, construir el mecanismo sinérgico basado en la confianza y el contrato, instituir el modo de gobernanza de la innovación abierta para lograr el objetivo del desarrollo sostenible de los seres humanos y la naturaleza. El establecimiento de un marco conceptual para la gobernanza verde es un desafío, ya que requiere la aplicación de teorías relevantes para la identificación de todos los sujetos que afectan y son afectados por dicha gobernanza verde.

Aún no hay un concepto universal sobre la gobernanza. Se dice que es la interacción de los diferentes actores en un contexto determinado donde se tienen que especificar los intereses y los acuerdos.

El término *verde* tiene numerosas definiciones. El verde es un símbolo de vida y el color de fondo de la naturaleza. Por lo tanto, el verde se usa a menudo para referirse a los sistemas económicos, sociales y ambientales, que pueden representar la relación entre la humanidad y la naturaleza.

Lo “verde” ha evolucionado gradualmente, del concepto original de color puro a un concepto de desarrollo a todo el proceso de “verde plus”, como economía verde, desarrollo verde, producción verde, finanzas verdes, etcétera.

El decimotercer plan quinquenal de China aclara el concepto de desarrollo verde. Señala que se debe adherir al desarrollo innovador, al desarrollo coordinado, al desarrollo verde, al desarrollo abierto y al desarrollo compartido, y establece el nuevo concepto de desarrollo de innovación, coordinación, verde, abierto y compartido.

El Código de Gobierno Corporativo para Empresas que Cotizan en China, anunciado por la Comisión Reguladora de Valores el 30 de septiembre de 2018, establece que “las empresas que cotizan en bolsa practicarán activamente el concepto de desarrollo verde, combinarán los requisitos de protección ecológica y ambiental en la estrategia de desarrollo y proceso de gobernanza verde, participarán activamente en la construcción de la civilización ecológica y desempeñarán el papel principal en la prevención de la contaminación, la conservación de los recursos y la protección ecoló-

gica”. Las empresas que existen bajo el modo de desarrollo extensivo están sujetas a una doble presión de las políticas nacionales, los recursos y el medio ambiente, y los objetivos de desarrollo de las empresas que cotizan en bolsa evolucionan gradualmente de la maximización de los beneficios económicos a la maximización de los beneficios sociales. Además, frente a las llamadas y el estrés de muchas partes interesadas en la sociedad, la transformación del modo de desarrollo y la implementación de la gobernanza ecológica se han convertido en una demanda urgente para las empresas, especialmente para las que cotizan en bolsa en China (Li, Li y Zhang, 2020). Sin embargo, las pequeñas y las medianas empresas (pymes) son reconocidas como un motor del desarrollo económico sostenible tanto en el mundo desarrollado como en el mundo en desarrollo. En China, las empresas familiares que cotizan en bolsa, como parte importante de las pymes, desempeñan un papel muy importante en el proceso de desarrollo de la economía social y también han mostrado una fuerza cada vez más poderosa durante los 40 años de reforma y apertura de China, asumiendo la importante responsabilidad de toda la sociedad. El desarrollo de empresas privadas se basa en la coordinación del desarrollo económico y ecológico, pues tiene que satisfacer las necesidades ecológicas básicas de las personas y promover el desarrollo coordinado de los seres humanos y de la naturaleza; por lo tanto, es fundamental considerar el problema de la gobernanza verde de las medianas, pequeñas y microempresas (Li *et al.*, 2020).

La gobernanza verde coordina el conflicto entre los seres humanos y la naturaleza a través del diseño de un conjunto de arreglos o mecanismos institucionales, lo que garantiza la toma de decisiones científicas de las acciones de gobernanza verde global y, en última instancia, mantiene la operación continua y estable del sistema económico-social ambiental (Li *et al.*, 2018).

El enfoque de la gobernanza verde y su impacto están determinados por la relación entre la huella ecológica y la biocapacidad. En el sistema de gobernanza verde se deben instrumentar mecanismos y herramientas de gestión tendientes al mantenimiento, la restauración o la reposición tecnológica del capital natural (Gladun, 2021).

Conclusiones

La gobernanza verde se propone armonizar la relación entre los seres humanos y la naturaleza y promover aún más la demanda de construir una comunidad de futuro compartido para la humanidad. Aunque la investigación sobre la gobernanza verde ha atraído una atención considerable, la falta de un marco teórico y de expresión lógica científica ha limitado la investigación y la aplicación de la teoría de la gobernanza verde. Como mecanismo de gobernanza informal, la confianza puede promover el intercambio integral de información, aumentar la posibilidad de adquirir conocimientos, convencer a los miembros de que las promesas de sus socios son confiables, que pueden cumplir con sus obligaciones, y tener la confianza para establecer una asociación con la integración de intereses y riesgos.

Para la construcción de la gobernanza verde se requieren estrategias y pautas de divulgación de información verde, innovaciones, políticas y avances.

En el sector empresarial se necesita cambiar la maximización a ultranza de las ganancias económicas de los accionistas por una maximización de los valores ecológicos y sociales.

Referencias

- Gladun, E., Zakharova, O., Zherebyateva, N., y Akhmedova, I. (2021, octubre). Green governance: The concept of environment-oriented regional development. *International Journal of Public Administration*.
- Khalil, N., Mohamad Bohari, A. A., Shamsudin, S. M., Abd Rashid, A. F., y Husin, H. N. (2021). Key approaches of life-cycle cost in green government procurement (GGP) for green projects. *Planning Malaysia: Journal of the Malaysian Institute of Planners*, 19(2), 27-38.
- Li, W., Xu, J., y Zheng, M. (2018). Green governance: new perspective from open innovation. *Sustainability*, 10(11), 3845, en <https://doi.org/10.3390/su10113845>.
- Li, X., Li, W., y Zhang, Y. (2020). Family control, political connection, and corporate

green governance. *Sustainability*, 12 (17), 7068, en <https://doi.org/10.3390/su12177068>.

Linares, P. G., Iváncsics, V., Filepné Kovács, K., Máté, K., y Valánszki, I. (2018). Green governance in metropolitan regions. *Corvinus Regional Studies*, 3 (1-2), 79-100.

Martínez Rodríguez, M. C. (2015). *Gobernanza ambiental: orígenes y estudios de caso*. Plaza y Valdés.

Zeng, J., Ren, J., y Ning, Zh. (2022). Mediating effect of corporate social responsibility-based entrepreneurship on environmental improvement: Evidence from 475 heavy-polluting enterprises. *Journal of Business Research*, 149, 506-517, en <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.05.014>.

II. La responsabilidad social pública en la contaminación del agua de la presa Adolfo López Mateos y los ríos Santiago y Conchos en México*

JORGE ALEJANDRO SILVA RODRÍGUEZ DE SAN MIGUEL¹

DULCE MARÍA MONROY BECERRIL²

MARÍA CONCEPCIÓN MARTÍNEZ RODRÍGUEZ³

Resumen

El sexto objetivo relacionado con el agua limpia y el saneamiento, de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, en la meta 6.3 indica que es necesario mejorar la calidad del agua reduciendo el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos. En México la presa Adolfo López Mateos y los ríos Santiago y Conchos se encuentran entre las fuentes de agua más importantes del país, pero altamente contaminadas. En este sentido, el objetivo de esta investigación es analizar la responsabilidad social pública en la contaminación de estos cuerpos de agua para su mejora. Se utiliza el método PRISMA para la revisión sistemática de la literatura sobre el tema. Los resultados se enfocan en los aspectos ambientales de la rendición de cuentas, en el marco de la responsabilidad social pública, y muestran que la contaminación en los tres cuerpos de agua es generada por efluentes industriales o municipales. Esto implica que no existe un adecuado cumpli-

* Proyecto SIP 20171821: "Evaluación de la gestión del agua potable en México: retos y oportunidades".

¹ Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor-investigador del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEEMAD), Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0961-4696>

² Maestra en Relaciones Interinstitucionales. Profesora-investigadora de la Escuela Superior de Comercio y Administración (unidad Santo Tomás), Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0787-5577>

³ Doctora en Política Pública. Profesora-investigadora del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEEMAD), Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3094-5411>

miento normativo. Entre las recomendaciones para la mejora destaca el control eficiente de las descargas residuales, la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales y las evaluaciones de impacto ambiental.

Palabras clave: *agua, contaminación, presa Adolfo Mateos, río Conchos, río Santiago.*

Introducción

El sexto Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas relativo al agua limpia y al saneamiento, en particular en la meta 6.3 de este ODS, se señala que es menester que la calidad del agua mejore a través de la reducción, el vertimiento y la minimización de las emisiones de productos químicos y materiales peligrosos (Naciones Unidas, 2022). En este sentido, cobra importancia el caso de México por sus cuerpos de agua contaminados.

En el pasado, nuestro país utilizó un sistema de control de agua centralizado, pero comenzó a descentralizar su sector hídrico en 1992, después de la aprobación de la Ley de Aguas Nacionales (Silva, 2020). En 2004 aprobó reformas en su Constitución política que crearon nuevos organismos de cuenca para gestionar el agua (Silva, 2020). Esto tuvo como objetivo aumentar la participación ciudadana y el acceso al agua potable en el país (Gleason Espíndola *et al.*, 2020). Sin embargo, el gobierno no pudo proporcionar agua de calidad debido a la escasez de agua y a la incapacidad de los organismos de cuenca para gestionar de manera eficiente los recursos hídricos, lo que aumentó la contaminación del agua en la nación (Silva, 2020). La contaminación del agua aumentó debido a la industrialización y a la falta de instalaciones sanitarias, lo cual genera que las aguas residuales lleguen a las fuentes de agua (Chakraborti y Shimshack, 2022; Malakootian y Nouri, 2010).

Cabe destacar que en México la presa Adolfo López Mateos y los ríos Santiago y Conchos se encuentran entre las fuentes de agua más importantes del país, pero están altamente contaminadas (Bern *et al.*, 2020). Los principales contaminantes del agua en las tres fuentes de agua son metales

pesados como mercurio y cadmio, desechos humanos y químicos industriales y agrícolas. La contaminación del agua ha aumentado la escasez del recurso hídrico debido a que la calidad de ésta no es apta para el consumo humano (Loaiza *et al.*, 2021; Bern *et al.*, 2020; Rubio-Arias *et al.*, 2010).

La cuenca del río Humaya es una de las más importantes de México porque abastece a la presa Adolfo López Mateos. El escurrimiento de esta cuenca es conducido a través del río Humaya, ubicado en el municipio de Badiraguato, Sinaloa. La presa tiene una superficie de 11 354 ha y una capacidad de almacenamiento de 3 086.6 m³ (Loaiza *et al.*, 2021).

El río Santiago forma parte de la Región Hidrológico-Administrativa XI y es parte de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago, que por su extensión, población y actividad económica es otra de las cuencas de mayor importancia en el país. Tiene una extensión de 132 476 km² (Palos *et al.*, 2012). Además, el río cuenta con 17 presas que tienen su origen en el Lago de Chapala, en Ocotlán, Jalisco, y desembocan en Nayarit, en el océano Pacífico (Guzmán *et al.*, 2012).

La cuenca del río Conchos se localiza entre Durango y Chihuahua y cuenta con una extensión territorial de 67 955.9 km². Este se origina en la vertiente oriental de la Sierra Madre Occidental, a una altitud superior a los 3 000 msnm, y fluye alrededor de 350 km hasta conectarse con el río Bravo, la frontera entre México y Estados Unidos (Bravo Peña *et al.*, 2022).

Por otra parte, el rol de otros actores dentro de la responsabilidad social empresarial (RSE) ha ido en auge, y se ha considerado al gobierno como aquel impulsor y facilitador de ésta. Este conjunto de actores participantes se ha concretado en el gobierno, las empresas y en la sociedad civil (Albareda *et al.*, 2009). De acuerdo con Gaete Quezada (2008), la responsabilidad social es fundamental para afrontar los problemas y las demandas del sector social a través de las organizaciones gubernamentales proveedoras de servicios públicos.

La responsabilidad social pública (RSP) cobra importancia en esta investigación por ser una herramienta de gestión que no es exclusiva del sector privado, sino que también se aplica en el sector público. Además, coadyuba en los procesos de evaluación de las actividades y los objetivos establecidos en planes de desarrollo y de acción de cada organismo del Estado (Santa Fajardo *et al.*, 2021). Este término se ha definido de la siguiente forma:

Es un conjunto de estrategias, políticas y compromisos económicos, éticos, sociales y medioambientales con la sociedad que se integran en sus procesos de gestión mediante una cultura de transparencia y buen gobierno, que responda y rinda cuentas (*accountability*) de su contribución al desarrollo sostenible global, al objeto de lograr mayor legitimación y confianza de los grupos de interés y la sociedad en general [Cueto Cedillo y de la Cuesta González, 2021, p. 93].

Considerando la definición anterior, el presente capítulo se relaciona con la temática del libro en el que está incrustado, por estar vinculado con la innovación, la gobernanza y el desarrollo sustentable. Esto debido al enfoque innovador que utiliza la RSP para dar respuesta a un problema que afecta la calidad del recurso hídrico. De igual forma, la RSP está relacionada con la gestión y la gobernanza (Lara *et al.*, 2020). Cabe destacar que para esta investigación se destacan los aspectos ambientales en la rendición de cuentas en el marco de la RSP.

El objetivo de esta investigación es analizar la RSP en la contaminación de estos cuerpos de agua para su mejora, ya que una gran cantidad de artículos han realizado investigaciones sobre estos temas, pero de forma aislada y sin el enfoque de la RSP. La hipótesis cualitativa es que por medio de la RSP se puede mejorar la calidad de los cuerpos de agua enunciados anteriormente. El método Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) es utilizado para la revisión sistemática de la literatura sobre el tema. La investigación se divide en introducción, metodología, resultados, discusión y conclusiones.

Metodología

La revisión sistemática de la literatura utilizó el método PRISMA, desarrollado por un grupo de 29 autores para proporcionar una forma científica y sistemática de utilizar fuentes tanto cualitativas como cuantitativas con el fin de realizar una investigación concluyente (Page *et al.*, 2021). PRISMA es una forma eficaz y transparente de informar revisiones sistemáticas y metaanálisis porque ayuda a la investigación a conocer las fortalezas y las de-

bilidades de las fuentes que se utilizan. Esta investigación recurre a una revisión sistemática de fuentes académicas, informes gubernamentales e informes técnicos de organizaciones no gubernamentales internacionales, como la Agencia de Protección Ambiental, el Instituto Federal para la Seguridad y Salud Ocupacional, la Organización Mundial de la Salud, entre otras. Los artículos académicos utilizan estudios científicos para analizar la RSP y para mostrar los niveles de contaminación del agua en México; mientras que los informes técnicos muestran el impacto social que tiene la contaminación del agua en diferentes países como el nuestro.

Para el análisis de la RSP se puso énfasis en los aspectos ambientales de la rendición de cuentas en el marco de la RSP, de acuerdo con Cueto Cedi- llo y De la Cuesta González (2021). Se hizo de esta forma por ser lo idó- neo, considerando las características de esta investigación, para los tres cuerpos de agua analizados.

Resultados

La implementación de las técnicas para la identificación, selección, eva- luación de la autenticidad y relevancia de los trabajos de investigación se redujo a 56 fuentes. Sin embargo 10 de éstas fueron excluidas porque no contenían información relevante para los temas tratados. Además, 11 do- cumentos más fueron excluidos de la investigación por no cumplir con la lista de verificación PRISMA. El trabajo utilizó 35 fuentes, entre informes técnicos gubernamentales, trabajos de investigación, capítulos de libros y sitios web. Éstos, a su vez, se complementaron con siete documentos más para enriquecer la sección acerca de la discusión.

Discusión

La revisión de la literatura mostró que la calidad del agua en México es monitoreada por la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua bajo la supervisión de la Comisión Nacional del Agua que se apoya de un

laboratorio acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación (Loaiza *et al.*, 2021).

A pesar de este monitoreo, es de gran preocupación el tema de la contaminación de los cuerpos de agua. Algunos de los más afectados son la presa Adolfo López Mateos, el río Santiago y el río Conchos. La revisión de la literatura mostró que los agroquímicos, las aguas residuales y los desechos industriales fueron las principales causas de la contaminación del agua en las tres fuentes de agua. Además, la turbidez, la carga de materia orgánica, el oxígeno y las concentraciones químicas fueron los parámetros más importantes para determinar el alcance de la contaminación. Esto ocasiona un deterioro ambiental e indica que no se está cumpliendo con la normatividad en el marco de la RSP.

Contaminación del agua en la presa Adolfo López Mateos

La cuenca del río Humaya también se ha visto afectada por la contaminación. Según Loaiza *et al.* (2021), el río Humaya es una de las cuencas hidrográficas más importantes del país ya que aporta agua a la presa Adolfo López Mateos (Bern *et al.*, 2020). La presa Adolfo López Mateos es importante para la economía de México porque proporciona agua de riego a 60 000 ha de cultivos en el valle de Culiacán, una de las regiones agrícolas más productivas del país (Beltrán Álvarez *et al.*, 2015). Además, la presa Adolfo López Mateos genera 90 MW de energía eléctrica a la nación (Loaiza *et al.*, 2021). Los productos químicos han degradado la calidad del agua, lo que aumenta el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua en el país. El agua está contaminada por coliformes fecales, fósforo y fertilizantes nitrogenados de las fincas cercanas (Loaiza *et al.*, 2021). La presa Adolfo López Mateos es una importante fuente de agua porque proporciona agua potable y agua para riego (Bouaroudj *et al.*, 2019). En 2019 la contaminación del agua en la presa aumentó debido a la ausencia de lluvias y a las intensas prácticas agrícolas alrededor del lago (Loaiza *et al.*, 2021).

La escasez de lluvia incrementó la contaminación del agua debido a que provocó una mayor concentración de nitrógeno y fósforo en la presa. La lluvia es importante para reducir los niveles de contaminación del agua

porque provoca una salida de agua de la presa (Kurtzio *et al.*, 1999). Las intensas actividades agrícolas alrededor del lago han aumentado el flujo de agroquímicos y fertilizantes nitrogenados y fosforados causando la muerte de peces en el lago (Loaiza *et al.*, 2021). La calidad del agua en la presa Adolfo López Mateos hace que el agua no sea apta para consumo humano. A pesar de esto, los lugareños no cuentan con fuentes alternativas de agua y utilizan el agua contaminada para fines domésticos (Moore, 1991). Esto puede conducir a un aumento de las enfermedades entre la población local.

Las variaciones climáticas afectan la calidad del agua en México. Según Loaiza *et al.* (2021) en nuestro país las lluvias caen de julio a noviembre debido a su proximidad a los trópicos; la temperatura promedio del agua es de 29 °C, más alta que la temperatura promedio de los otros cuerpos de agua tropicales (Loaiza *et al.*, 2021). Las altas tasas de precipitación entre julio y octubre provocan bajas concentraciones de químicos en el agua de la presa Adolfo López Mateos (Loaiza *et al.*, 2021). Las variaciones estacionales de la calidad del agua en los cuerpos de agua en México se deben a la sequía, al procesamiento de inundaciones y a la escorrentía (Loaiza *et al.*, 2021). A medida que se produzca el cambio climático, aumente la temperatura y se reduzcan las precipitaciones, la calidad del agua empeorará debido a las mayores concentraciones de sustancias químicas en los cuerpos de agua en México (Lewis *et al.*, 1999). Además, como consecuencia del calentamiento global, las granjas están utilizando más agroquímicos para aumentar su rendimiento (Geng *et al.*, 2021) y terminan siendo arrastrados a las fuentes de agua (Abramovich *et al.*, 2001). Esto muestra que la contaminación del agua seguirá aumentando si el gobierno no encuentra formas proactivas de enfrentarla.

La medición de la materia orgánica en un cuerpo de agua es importante porque ayuda a determinar los efectos que tiene la contaminación sobre la vida acuática. La DQO mide la demanda química de oxígeno, por lo que al haber una DQO alta en la presa Adolfo López Mateos se entiende que tiene altas cantidades de químicos que afectan el ciclo del oxígeno en el cuerpo de agua. Esto ocurre debido a la presencia de grandes cantidades de nitrógeno y fósforo en el reservorio que utilizan la mayor parte del oxígeno y provocan la muerte de la vida acuática porque no tienen suficiente

oxígeno para su uso. Además, tener una DQO alta implica que los niveles de químicos en la presa provoquen que su agua no sea apta para consumo humano (Sekaluvu *et al.*, 2018).

La presa Adolfo López Mateos se encuentra en una región montañosa escasamente poblada y debido a esto el material orgánico proviene de la escorrentía agrícola, por lo que no se han encontrado residuos orgánicos domésticos ni industriales (Kotas y Stasika, 2020). La revisión de la literatura mostró que la presa Adolfo López Mateos no está tan contaminada como los ríos Santiago y Conchos. El principal contaminante de la presa es la materia orgánica. Además, la presa tiene cantidades despreciables de vertido industrial.

La revisión bibliográfica indica que el índice integral de contaminación de la presa es bajo, en comparación con los demás cuerpos de agua de México (Yaghoubi *et al.*, 2020). Las razones de la baja contaminación son que el gobierno federal realiza periódicamente análisis de agua debido a que la presa Adolfo López Mateos se utiliza como fuente de agua y como un importante sitio de atracción turística (Loaiza *et al.*, 2021). La principal fuente de contaminación en la presa Adolfo López Mateos es el diésel de las embarcaciones que se utilizan como principal medio de transporte de los lugareños y de los turistas que la visitan (Loaiza *et al.*, 2021). Además, la materia orgánica que ha afectado la turbidez del comedor proviene de las aguas residuales de los pueblos y las granjas locales que rodean el lago (Lasheras *et al.*, 1999).

Para el gobierno federal y estatal es difícil controlar esta contaminación porque proviene de escurrimientos superficiales y no existe industria, finca o municipio que vierta sus desechos en la presa Adolfo López Mateos (Quevedo-Castro *et al.*, 2019). Los principales contaminantes de la presa son material orgánico biodegradable, contaminación fecal difusa y material particulado disuelto que provoca variaciones en la turbidez del agua (Quevedo-Castro *et al.*, 2019). Se trata de una contaminación normal que se produce por los escurrimientos superficiales de las inmediaciones de la presa Adolfo López Mateos.

La materia orgánica en la presa Adolfo López Mateos es COT (2.5 mg/l), DBO (4.22 mg/l) y DQO (22.6 mg/l), los cuales se encuentran por debajo de los límites permitidos por el gobierno mexicano (Loaiza *et*

al., 2021). La DQO en la presa es más alta que en otros cuerpos de agua (Han *et al.*, 2020). Las variaciones climáticas han afectado la calidad del agua en la presa. Coliformes fecales, fertilizantes fosforados y nitrogenados de las fincas aledañas han sido los principales contaminantes (Quevedo-Castro *et al.*, 2019).

La presa Adolfo López Mateos tiene un valor de turbidez de 7.46 unidades de turbidez nefelométrica (UNT), lo que indica la reducción de la claridad del agua provocada por las partículas en suspensión. El agua está turbia debido a la presencia de sustancias químicas y materia orgánica provenientes de la escorrentía agrícola (Loaiza *et al.*, 2021). La World Health Organization (2017) señala que la turbidez es importante en el suministro de agua porque ayuda a mostrar la presencia de bacterias, materia orgánica, productos químicos, patógenos y partículas. La World Health Organization describe que la turbidez del agua potable debe ser inferior a 5 UNT e, idealmente, inferior a 1 UNT.

La alta turbidez de la presa Adolfo López Mateos indica que el agua tiene altos niveles de materia orgánica y sólidos disueltos. Estos sólidos disueltos provienen de la escorrentía agrícola de las fincas aledañas. Adicionalmente, la alta concentración de agroquímicos ha hecho que la presa tenga un alto valor de UNT debido a que el agua no es clara. El valor de turbidez de 7 UNT implica que el agua está turbia debido a la presencia de sustancias químicas y materia orgánica proveniente de la escorrentía agrícola (Loaiza *et al.*, 2021).

Contaminación del agua en el río Santiago

La fuerte contaminación del río Santiago ha afectado negativamente al sector turístico de la región de Guadalajara. El río Santiago nace en el lago de Chapala, 4 km al sur de la ciudad de Ocotlán, y discurre por los municipios de Juanacatlán y El Salto. Entre los dos pueblos principales hay una cascada de 20 m que alguna vez fue conocida como el “Niágara de México”. Sin embargo, esta cascada dejó de ser un sitio turístico hace unas tres décadas, debido a que el río Santiago recibe aguas residuales industriales y municipales sin tratar y ahora es uno de los más contaminados del país (Instituto Mexicano para el Desarrollo Comunitario [IMDEC], 2010). Las

actividades turísticas que prevalecían a lo largo del río en las décadas de 1960 y 1970 terminaron porque el río Santiago libera olores debido a la presencia de gas de sulfuro de hidrógeno que proviene de los efluentes industriales sin tratar (Davis y Elias, 2019). Un estudio realizado cerca de la cascada mostró que el río Santiago tiene altos niveles de sulfuro de hidrógeno de 2 a 4 ppm (Sajeev *et al.*, 2020). La alta concentración de sulfuro de hidrógeno gaseoso en el agua aumenta las enfermedades respiratorias como asma, edema pulmonar, asfixia, parálisis respiratoria e irritación de ojos y piel (Federal Institute for Occupational Safety and Health, 2020). La presencia de gas de sulfuro de hidrógeno ha paralizado la actividad turística por malos olores y riesgo de contraer enfermedades entre los visitantes (Korkanç *et al.*, 2017). Además, el sulfuro de hidrógeno en el río provocó problemas respiratorios como asma, irritación de garganta y padecimientos oculares como conjuntivas (Li y Liu, 2019). Estas condiciones médicas fueron causadas por las altas concentraciones de sulfuro de hidrógeno que se liberaba al aire y que los niños respiraban o con las que entraban en contacto cuando nadaban o jugaban cerca del río Santiago (Vargas, 2021).

El Índice de Calidad del Agua (ICA) muestra que el río Santiago, una de las principales fuentes de agua en la región de Guadalajara, está muy contaminado y su agua no es apta para uso humano e industrial sin un tratamiento adecuado (Roşca *et al.*, 2020). El ICA del río Santiago en El Salto estaba entre 38.09 y 91.69 (Marx, 2003). Esto demuestra que el río no es adecuado como suministro de agua potable; las actividades recreativas en el río sólo se pueden llevar a cabo sin contacto con el agua y el agua requiere tratamiento antes de ser utilizada en industrias y sólo unos pocos organismos pueden sobrevivir en el río.

Los resultados de un estudio realizado a lo largo del río Santiago cerca de las cataratas del “Niágara mexicano” mostraron que la presencia de contaminantes ha afectado la salud de los lugareños. Según un estudio realizado por la Agencia para las Sustancias Tóxicas, con base en una encuesta de 100 hogares ubicados cerca de las cataratas con un tamaño de muestra de 166 niños de 6 a 14 años que residen en el área mostró que 39% de los pequeños había padecido alguna enfermedad, 49.23% enfermedades respiratorias, 44.61% infecciones de garganta, 4.61% problemas de piel y 1.5% otras enfermedades, siendo los principales síntomas con-

juntivitis, erupciones cutáneas, irritación de garganta, náuseas y dolores de cabeza (Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2014). Estas enfermedades fueron causadas por altas concentraciones de sulfuro de hidrógeno.

El río no es compatible con la vida acuática debido a los bajos niveles de oxígeno disuelto provocados por la presencia de grasa y aceite, los altos niveles de amoníaco y fosfatos, las altas concentraciones de zinc y plomo y los inaceptables niveles de coliformes fecales que están 110 veces por encima del límite (IMDEC, 2010).

De acuerdo con la Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos, el río Santiago está contaminado por los vertidos industriales de la Ciudad de Ocotlán, el Parque Industrial de Guadalajara y la Zona Urbana de Guadalajara (IMDEC, 2010). El Inventario de Descargas para el Estado de Jalisco señala que 266 efluentes industriales vierten al río Santiago, de los cuales 36.5% proviene de la industria química y farmacéutica, 15% de la industria alimentaria, y la industria textil, papelería y tequilera vierten 12.3% al río (IMDEC, 2010). Además, las industrias de minerales no metálicos, eléctrica y electrónica y metalmecánica, son los principales contaminantes del río Santiago (IMDEC, 2010). Entre las empresas que descargan sus efluentes al río Santiago se encuentran Harinera de Maíz de Jalisco, Nestlé, Industrias Ocotlán, IBM, Ciba Specialty Chemicals y Celanese México. Algunas de estas industrias cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales en las que tratan su agua antes de ser vertida al río; sin embargo, aún no cumple con los estándares nacionales establecidos por el gobierno mexicano (IMDEC, 2010; Jiménez *et al.*, 2004).

La descarga de residuos municipales sin tratar fue la principal causa de contaminación en el río Santiago. Las descargas de aguas residuales municipales sin tratar del Canal El Ahogado desembocaron en el río Santiago y provocaron que la demanda biológica de oxígeno y los sólidos totales suspendidos excedieran los límites requeridos (IMDEC, 2010). Además, cuatro industrias: Nestlé, Celanese, Cyda Crysel y una granja de cerdos en Toluatlán, permitieron que el agua de sus efluentes fluyera hacia el río con todas las empresas que esperaban que la granja de cerdos tratara las aguas residuales antes de que fueran descargadas al río Santiago. Esto llevó a que

el nitrógeno total y los coliformes fecales en el río excedieran los límites requeridos (IMDEC, 2010).

Contaminación del agua en el río Conchos

El rápido desarrollo económico y la urbanización de México han aumentado la contaminación del agua en el país. Según Rubio Arias *et al.* (2010), en el río Conchos, uno de los principales afluentes del río Bravo: un río importante en la parte norte de México, la contaminación es causada por el crecimiento de los sectores industrial, agrícola y forestal en Chihuahua (CRC para Ciudades Sensibles al Agua, 2017).

En el estudio realizado en el río Conchos por Rubio Arias *et al.* (2010), las muestras se recolectaron de seis puntos de agua a lo largo del río. Los seis puntos fueron: Punto 1 (latitud 28° 49' 23.7"; longitud 105° 54' 57.0"; 1 279 msnm [metros sobre el nivel del mar]), Punto 2 (latitud 27° 57' 13.2"; longitud 106° 06' 35.9"; 1 375 msnm), Punto 3 (latitud 27° 28' 15.5"; longitud 105° 42' 25.4"; 1 329 msnm), Punto 4 (latitud 27° 40' 03.4"; longitud 105° 12' 33.8"; 1 228 msnm) y Punto 6 (latitud 29° 34' 02.1"; longitud 104° 26' 46.1"; 786 msnm). Los sitios se denominan sitios 1, 2, 3, 4, 5 y 6. Las muestras de agua de los seis lugares a lo largo del río fueron colectados en bolsas esterilizadas para evitar su contaminación y conservados en un lugar fresco antes de ser transportados al laboratorio para su análisis.

El estudio también proporcionó resultados para los niveles de arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), manganeso (Mn), hierro (Fe), plomo (Pb) y mercurio (Hg) en el río Conchos. Según sus resultados, el sitio 1 presentó la mayor concentración, con 0.0192 mg·L⁻¹, que está por encima del límite recomendado de 0.2 mg·L⁻¹ para el desarrollo de la vida acuática (Rubio Arias *et al.*, 2010). Los niveles de Cd no superaron los límites recomendados. Los niveles de manganeso en el sitio 6 fueron superiores al límite recomendado de 0.15 mg·L⁻¹ (Rubio Arias *et al.*, 2010). Los altos niveles de manganeso pueden causar el síndrome de manganeso entre los bebés y las personas mayores. Debido a esto, las instituciones que extraen agua del río Conchos se han visto obligadas a tratarla para bajar el límite de Mn por debajo de 0.5 mg·L⁻¹ (Scott *et al.*, 2000). Además, la mayor concentración de hierro se presentó en los sitios 5 y 6 donde los nive-

les superaron el límite recomendado de $0.3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Rubio Arias *et al.*, 2010). Los niveles de plomo en el sitio 6 estaban cerca del límite recomendado de $0.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Rubio Arias *et al.*, 2010). El estudio mostró que el río Conchos está contaminado por desechos humanos debido a que se encontraron coliformes fecales en el agua. Según el estudio, el recuento de coliformes fecales más alto se encontró en los sitios 3 y 6, con valores de 500 y 240 unidades formadoras de colonias UFC/100 ml, respectivamente, que no superaron los límites recomendados de 1000 UFC/100 ml. Los sitios 1 y 2 tuvieron los valores más bajos con 22 y 23 UFC/100 ml (Rubio Arias *et al.*, 2010). Con respecto a los conteos de coliformes totales, los valores más altos se detectaron en los sitios 3, 4 y 6 con 500, 500 y 900 UFC/100 ml, respectivamente (Rubio Arias *et al.*, 2010). Por otro lado, las muestras de agua del sitio 2 tenían la concentración más baja de coliformes fecales con 34 UFC/100 ml (Rubio Arias *et al.*, 2010). La Organización Mundial de la Salud señala que la presencia de coliformes fecales provoca enfermedades transmitidas por el agua, como la giardiasis y la criptosporidiosis (National Research Council, 2001). Por lo tanto, el agua del río Conchos debe someterse a un tratamiento para que sea apta para consumo humano.

Según Pérez Cutillas *et al.* (2019), la cuenca del río Conchos cubre una extensa área agrícola que demanda grandes cantidades de agua para su producción, por lo que el nivel de calidad del líquido es uno de los problemas más importantes en el desarrollo agroalimentario de esta región. Los resultados más relevantes determinan valores muy bajos de oxígeno disuelto (OD), con niveles promedio de $4.06 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Los valores de nitratos (concentraciones máximas de $15.35 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), que generalmente provienen de los fertilizantes químicos utilizados para la producción agrícola, y fósforo total (concentraciones máximas de $75 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), derivado de las aguas residuales, también son elevados y vertidos al río, aunque hayan pasado por las plantas de tratamiento y depuración. Las tasas de turbidez superan los niveles permisibles de 10 UNT en varios casos debido al arrastre de sedimentos (Pérez Cutillas *et al.*, 2019).

Un estudio categorizó los contaminantes, las cuales incluyen metales pesados que causaron el síndrome de Itai-Itai y afectaron la salud del feto en mujeres embarazadas (McCulligh y Vega Fregoso, 2019). La concentración de los metales pesados en el río Conchos fue provocada por las preci-

pitaciones erráticas y las altas temperaturas en el norte de México (Gutiérrez *et al.*, 2008). Las altas temperaturas y las precipitaciones erráticas hacen que el río Conchos pierda mucha agua por evaporación. Esto aumenta la concentración de metales pesados en el río causando la muerte de la vida acuática y la mala salud de las personas que viven a lo largo del río (Han *et al.*, 2020).

Los altos niveles de nitrógeno en el agua pueden causar eutrofización, que ocasiona la muerte de organismos acuáticos como los que viven en el río Conchos. Los nitratos en el río provienen de desechos agrícolas e industriales. Rubio Arias *et al.* (2010) señalan que el alto contenido de nitrógeno en el río puede causar metahemoglobinemia y aborto en ganado como el vacuno. En los seres humanos el nitrógeno del río puede causar el síndrome del bebé azul cuando es ingerido por mujeres embarazadas (Rubio Arias *et al.*, 2010). Es importante señalar que no se detectó nitrito en los sitios 2 y 3 y se observaron valores muy bajos en los otros sitios. El aumento de las cantidades de nitrito en el agua provoca un crecimiento excesivo de algas en el río. El crecimiento excesivo de algas consume oxígeno y nutrientes, lo que dificulta el crecimiento de peces y plantas y causa la muerte de la vida acuática (Hsueh *et al.*, 1995). El exceso de nitratos y nitritos en las fuentes de agua provoca la proliferación de algas que eliminan el oxígeno del agua y provocan enfermedades y la muerte de un gran número de peces (Environmental Protection Agency, 1997). Esto afecta la pesca y provoca escasez de alimentos para los lugareños que dependen de las fuentes de agua para su alimento. Además, las floraciones de algas causan problemas de salud en los seres humanos porque producen altos niveles de toxinas y bacterias que pueden causar enfermedades de la piel o giardiasis cuando las personas consumen agua contaminada (Environmental Protection Agency, 1997). Las floraciones de algas también reducen la velocidad del flujo de agua en el río Conchos. El agua de movimiento lento es un buen caldo de cultivo para caracoles y mosquitos que transmiten la esquistosomiasis y la malaria, respectivamente (World Health Organization, 2017). Esto muestra que la contaminación del agua en el río Conchos ha aumentado el riesgo de enfermedades entre los seres humanos y ha provocado la muerte de peces y otras formas de vida acuática en la cuenca del río.

El río Conchos sufre cambios espaciales considerables en cuanto a contenidos fisicoquímicos de metales pesados a lo largo de su recorrido (Rubio Arias *et al.*, 2010). Además, los niveles de contaminación del río cambian dependiendo de las actividades humanas que se realizan en los puntos por donde pasa (Varol, 2019). Asimismo, el cambio climático ha jugado un papel relevante en el empeoramiento de la contaminación del río Conchos (Hsueh *et al.*, 1995). Los bajos niveles de agua causados por la desertificación en el norte de México han incrementado la concentración de metales pesados en el río (Anderson, 1997). Además, la eutrofización ha afectado el equilibrio ecológico del ecosistema del río, lo que ha provocado un gran aumento de especies de plantas invasoras, como el cedro salado, que ha ahogado por completo a Adolfo López Mateos 200 millas del corredor del río desde aguas abajo de El Paso hasta donde se une el río Conchos con el río Bravo (World Wildlife Fund, 2009). Lo anterior ha provocado la muerte de peces en el río y ha hecho que el agua no sea apta para consumo humano (He *et al.*, 2020). El cedro salado ha dificultado que los lugareños utilicen el río Conchos como fuente de agua potable y con fines recreativos. La alta concentración de coliformes metálicos y fecales en el río plantea un importante desafío para la salud pública (World Health Organization, 2017). Gutiérrez y Borrego (1999) señalan que la alta concentración de metales y coliformes fecales proviene de escurrimientos superficiales y descargas industriales (Martínez *et al.*, 2002). La presencia de coliformes fecales ha causado brotes localizados de giardiasis, cólera y fiebre tifoidea entre los lugareños (Rubio Arias *et al.*, 2010). Los gobiernos federal y estatal han fallado en su obligación de prevenir la contaminación al hacer cumplir la regulación que impide que las descargas industriales lleguen al río Conchos.

Las principales fuentes de contaminación provienen de los vertidos de aguas residuales municipales y de residuos industriales. La información muestra la necesidad de mejorar los sistemas de saneamiento de agua y establecer un abastecimiento adecuado, debido a que los principales recursos hídricos disponibles presentan niveles de contaminación, en ocasiones bastante significativos, asociados a actividades agrícolas e industriales y al desarrollo urbano (Pérez Cutillas *et al.*, 2019).

Recomendaciones

En el marco de la RSP, el gobierno mexicano puede reducir la contaminación del agua en el país mediante la elaboración de un marco nacional guiado por los gobiernos estatales y locales para reducir la cantidad de contaminantes que terminan en las fuentes de agua (Valdivia Alvarado *et al.*, 2021). Las autoridades municipales, estatales y locales deben construir plantas de tratamiento de aguas residuales para todos los efluentes industriales que se descargan en los ríos Santiago y Conchos (Gleason, 2017); para ello se debe priorizar el tema en la agenda pública para que cuente con un presupuesto adecuado. Además, los municipios deben tratar todos los lodos de acuerdo con las normas aplicables y realizar análisis periódicos para garantizar que estén por debajo de los límites recomendados (Fox y Lytle, 1996). Los gobiernos estatales deben hacer cumplir los programas que requieren que las granjas a gran escala tengan plantas de tratamiento de aguas residuales para evitar que los desechos en los efluentes fluyan hacia las fuentes de agua (United States Environmental Protection Agency, 2022). Las autoridades federales, estatales y municipales deben trabajar en conjunto para proporcionar instalaciones sanitarias que eviten el ingreso de desechos a las fuentes de agua.

El gobierno debe presentar un programa de calidad para monitorear las fuentes de agua en el país. En el caso del río Santiago, el gobierno del estado debería elaborar un programa de calidad interinstitucional que permita monitorear la presencia y la concentración de sulfuro de hidrógeno y contaminantes tóxicos (Yaghoubi *et al.*, 2020). En el caso de la presa Adolfo López Mateos, todas las embarcaciones deben cumplir con estándares mínimos para garantizar que no derramen aceite ni diésel en la presa. En el caso del río Conchos, es necesario elaborar un plan de manejo integral para la sustentabilidad de todos los recursos naturales; de lo contrario el impacto de los procesos de degradación de aguas y suelos aumentará considerablemente, ocasionando altos costos económicos y ambientales (Pérez Cutillas *et al.*, 2019).

Los gobiernos estatales siempre deben realizar pruebas de evaluación de impacto ambiental antes de permitir la construcción de cualquier plan-

ta industrial cerca de un cuerpo de agua. La evaluación ambiental debe mostrar cómo la industria pretende descargar sus aguas residuales. No se debe permitir que ninguna industria descargue aguas residuales sin tratarlas hasta los límites recomendados.

Conclusiones

La contaminación del agua es una de las principales causas de preocupación porque causa enfermedades y conduce a la escasez de agua porque las personas no pueden utilizar los recursos hídricos disponibles. Parte de los problemas de contaminación del agua se deben al crecimiento urbano porque cada vez más personas y empresas generan aguas residuales que se concentran en ríos, mares y otros. La falta de RSP en el aspecto normativo vinculado a políticas públicas inadecuadas ocasiona que no se sancione este tipo de contaminación, se refleja en aquellas áreas que terminan llenas de desechos industriales y tóxicos. La contaminación del agua ha afectado a los ríos Conchos y Santiago y a la presa Adolfo Mateos, las fuentes de agua más importantes de México.

Los resultados de la investigación demostraron que la presa Adolfo López Mateos está menos contaminada por la materia orgánica de las fincas aledañas, mientras que los ríos Conchos y Santiago están altamente contaminados por las aguas residuales industriales. La contaminación es un motivo de gran preocupación porque provoca enfermedades y conduce a la escasez de agua porque la gente no puede utilizar los recursos hídricos disponibles. Los ríos Santiago y Conchos están fuertemente contaminados debido a la descarga de efluentes industriales y agroquímicos que llegan a estos ríos. Sin embargo, la presa Adolfo López Mateos sólo se contamina con materia orgánica porque el gobierno mexicano ha implementado medidas para garantizar que ningún municipio, industria o granja, viertan sus desechos en la presa. Los gobiernos estatales y locales mexicanos deben seguir las recomendaciones para aliviar la contaminación en las fuentes de agua.

Se requiere más investigación para mostrar cómo el gobierno mexicano puede usar tecnología, como las imágenes satelitales, para monitorear

la contaminación en el país. Los agroquímicos son una de las principales causas de la contaminación del agua. Los agroquímicos en el agua causan impactos negativos en la salud humana, como el síndrome del bebé azul en los bebés y la eutrofización que causa la muerte de peces y organismos acuáticos y provoca el crecimiento de especies invasoras que dificultan las actividades de transporte y turismo. Para evitar esto, el gobierno mexicano debe implementar medidas para garantizar que todos los agroquímicos utilizados en el país cumplan con las pautas requeridas, como ser biodegradables para garantizar que no se acumulen en las fuentes de agua. Esto jugará un papel fundamental en el combate de la contaminación del agua.

La prioridad que debe existir en el gobierno mexicano es el abastecimiento de agua de calidad, buscando establecer las medidas necesarias para que se produzcan menos residuos y que éstos no sean un factor determinante para la aniquilación de la flora y la fauna que vive y depende de este líquido. Es importante contar con estrategias para la eliminación de las aguas ya utilizadas y que son generadoras de enfermedades y de contaminación del medio ambiente. Las sustancias residuales que día a día se van desechando sin cuidado aparecen como contaminación y afectan continuamente el desarrollo de una vida limpia.

También es necesario invertir en la infraestructura necesaria para aumentar la capacidad de tratamiento de aguas residuales, lo cual representaría una ganancia a largo plazo al reducir los costos de contaminación, sobreexplotación y transporte de agua.

Esta investigación resume los trabajos más relevantes publicados sobre la contaminación del agua en los tres cuerpos de agua analizados, vinculándolo con la RSP con énfasis en el aspecto ambiental. Esto da indicios para aceptar la hipótesis cualitativa de que por medio de la RSP se puede mejorar la calidad de los cuerpos de agua analizados en esta investigación. Además, los hallazgos obtenidos pueden ser de utilidad para los tomadores de decisiones y como referencia para futuras investigaciones, sobre todo en el campo de la RSP, por ser un área poco explorada en la literatura.

Referencias

- Abramovich, B. L., Gilli, M. I., Hayde, M. A., Carrera, A., Lura, M. C., Nepote, A., Gómez, P. A., Vaira, S., y Contini, L. (2001). *Cryptosporidium* y *Giardia* en aguas superficiales. *Revista Argentina de Microbiología*, 33 (3), 167-176.
- Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) (2014, octubre). *Resumen de salud pública: ácido sulfhídrico* [archivo PDF]. Autor, en https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs114.pdf.
- Albareda, L., Lozano, J. M., Tencati, A., Perrini, F. y Midttun, A. (2009). The role of government in corporate social responsibility. En L. Zsolnai, Z. Boda y L. Fekete (eds.), *Ethical Prospects* (pp. 103–149). Springer, en https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9821-5_6.
- Anderson, R. A. (1997). Chromium as an essential nutrient for humans. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 26 (1), S35-S41.
- Beltrán Álvarez, R., Sánchez Palacios, J., y Arroyo Bustos, G. (2015, mayo). *Diagnóstico limnológico y pesquero de los principales embalses de Sinaloa* [archivo PDF]. Cámara de Diputados y Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria, en http://biblioteca.diputados.gob.mx/janium/bv/cedrssa/lxii/diag_limpes_prinemb_sin.pdf.
- Bern, C. R., Holmberg, M. J., y Kísfalusi, Z. D. (2020). Effects of John Martin dam, Colorado on water quality and quantity: Assessment by chemical, isotopic, and mass-balance methods. *Journal of Hydrology X*, 7, 1-13, en <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2020.100051>.
- Bouaroudj, S., Menad, A., Bounamous, A., Ali-Khodja, H., Gherib, A., Weigel, D. E., y Chenchouni, H. (2019). Assessment of water quality at the largest dam in Algeria (Beni Haroun dam) and effects of irrigation on soil characteristics of agricultural lands. *Chemosphere*, 219, 76-88, en <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.193>.
- Bravo Peña, L. C., Gautrín Córdova, M. O., Alatorre Cejudo, L. C., Torres Olave, M. E., Moreno Murrieta, R. L., Salas Aguilar, V. M., Rojas Villalobos, H. L., Reyes Gómez, V. M., Uc Campos, M. I., y González León, M. O. (2022). Degradación y deforestación en la cuenca del río Conchos (México): modelado predictivo mediante regresión logística (1985-2016). *Cuadernos Geográficos*, 61 (1), 129-149.
- Chakraborti, L., y Shimshack, J. P. (2022). Environmental disparities in urban Mexico: evidence from toxic water pollution. *Resource and Energy Economics*, 67, 101281.

- CRC for Water Sensitive Cities (2017, noviembre 1). *The climatic benefits of green infrastructure* [archivo PDF]. CRC for Water Sensitive Cities, en https://watersensitvecities.org.au/wp-content/uploads/2017/11/IndustryNote_Climatic-benefit-of-green-infrastructure.pdf.
- Cueto Cedillo, C., y Cuesta González, M. (2021). *La administración pública de la responsabilidad social corporativa*. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Davis, J. M., y Elias, R. W. (2019). Risk assessment of metals. En L. W. Chang (ed.), *Toxicology of metals* (vol. 1, pp. 55-67). CRC Press.
- Environmental Protection Agency (1997). *Drinking water and health, contaminant-specific fact sheets for consumers* [documento de trabajo]. Environmental Protection Agency.
- Federal Institute for Occupational Safety and Health (2020, septiembre). *CLH report: proposal for harmonised classification and labelling* [archivo PDF]. European Chemicals Agency, en <https://echa.europa.eu/documents/10162/52943b43-e03f-b8e7-a37e-4fc7f660abbb>.
- Fox, K. R., y Lytle, D. A. (1996). Milwaukee's crypto outbreak: Investigation and recommendations. *Journal AWWA*, 88 (9), 87-94, en <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1996.tb06615.x>.
- Gaete Quezada, R. A. (2008). Aplicaciones de la responsabilidad social a la nueva gestión pública. *Documentos y Aportes en Administración Pública y Gestión Estatal*, (11), 35-61.
- Geng, M., Wang, K., Yang, N., Li, F., Zou, Y., Chen, X., Deng, Z., y Xie, Y. (2021). Evaluation and variation trends analysis of water quality in response to water regime changes in a typical river-connected lake (Dongting Lake), China. *Environmental Pollution*, 268, 1-38, en <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115761>.
- Gleason, J. (2017, marzo 16). *Programa de Manejo Integral de Agua Pluvial (PROMIAP) y Plan Integral de Manejo de Inundaciones (PIMI)* [archivo PDF], en https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/doctrans/1.-_antecedentes-promiap-pimi.pdf.
- Gleason Espíndola, J. A., Corona Sánchez, Y., y Casiano Flores, C. (2020). Mexican rainwater harvesting movement in recent years. En J. A. Gleason Espíndola, C. A. Casiano Flores, R. Pacheco-Vega y M. R. Pacheco Montes (eds.), *International rainwater catchment systems experiences: towards water security* (pp. 73-82). IWA.
- Gutiérrez, M., y Borrego, P. (1999). Water quality assessment of the Rio Conchos, Chihuahua, Mexico. *Environment International*, 25 (5), 573-583, en [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(99\)00025-2](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(99)00025-2).
- Gutiérrez, M., Martínez-Pina, C., Luo, J., y Mickus, K. (2008). Geochemical processes

- contributing to the contamination of soil and surface waters in the Rio Conchos basin, Mexico. *Geosphere*, 4 (3), 600-611, en <https://doi.org/10.1130/GES00160.1>.
- Guzmán Arroyo, M., Peniche Camps, S., y López Hernández, M. (2012). El origen del río Santiago y las extracciones al lago de Chapala. En S. Peniche Camps, G. Zavala García, E. Macías Franco, F. González González, H. Cortés Fregoso y M. Guzmán Arroyo (eds.), *III Seminario Internacional sobre la Cuenca del Río Santiago "Retos y perspectivas de las áreas naturales protegidas"* (pp. 113-128). Universidad de Guadalajara.
- Han, Q., Tong, R., Sun, W., Zhao, Y., Yu, J., Wang, G., Shrestha, S., y Jin, Y. (2020). Anthropogenic influences on the water quality of the Baiyangdian lake in north China over the last decade. *Science of The Total Environment*, 701, 1-38.
- He, J., Wu, X., Zhang, Y., Zheng, B., Meng, D., Zhou, H., Lu, L., Deng, W., Shao, Z., y Qin, Y. (2020). Management of water quality targets based on river-lake water quality response relationships for lake basins: a Case study of Dianchi Lake. *Environmental Research*, 186, 1-16, en <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109479>.
- Hsueh, Y. M., Cheng, G. S., Wu, M. M., Yu, H. S., Kuo, T. L., y Chen, C. J. (1995). Multiple risk factors associated with arsenic-induced skin cancer: effects of chronic liver disease and malnutritional status. *British Journal of Cancer*, 71 (1), 109-114, en <https://doi.org/10.1038/bjc.1995.22>
- Instituto Mexicano para el Desarrollo Comunitario (Imdec) (2010). *Report on violations to the right to health and to a safe environment in Juanacatlán and El Salto, Jalisco, Mexico* [archivo PDF]. Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos (ACNUDH), en https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/Issues/Business/Consultation2010/ExecutiveSummarySantiagoRiver_en.pdf.
- Jiménez, B., Mazari, M., Domínguez, R., y Cifuentes, E. (2004). El agua en el Valle de México. En B. Jiménez y L. Marín (eds.), *El agua en México vista desde la academia* (pp. 15-32). Academia Mexicana de Ciencias.
- Korkanç, S. Y., Kayıkç, S., y Korkanç, M. (2017). Evaluation of spatial and temporal water quality in the Akkaya dam watershed (Niğde, Turkey) and management implications. *Journal of African Earth Sciences*, 129, 481-491, en <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.01.034>.
- Kotas, J., y Stasicka, Z. (2020). Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation. *Environmental Pollution*, 107 (3), 263-283, en [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00168-2](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00168-2).
- Kurttio, P., Pukkala, E., Kahelin, H., Auvinen, A., y Pekkanen, J. (1999). Arsenic concen-

- trations in well water and risk of bladder and kidney cancer in Finland. *Environmental Health Perspectives*, 107 (9), 705-710, en <https://doi.org/10.1289/ehp.99107705>.
- Lara Martínez, M. A., Carballo Aguilar, O. A. y González Niño, J. L. (2020). Gobernanza y responsabilidad social pública: convergencia con el desarrollo local. *RICSH (Revista Iberoamericana de las Ciencias Sociales y Humanísticas)*, 9 (18), 170-193.
- Lewis, D. R., Southwick J. W., Ouellet-Hellstrom, R., Rench, J. y Calderon, R. L. (1999). Drinking water arsenic in Utah: a cohort mortality study. *Environmental Health Perspectives*, 107 (5), 359-365. <https://doi.org/10.1289/ehp.99107359>.
- Li, D., y Liu, S. (2019). Detection of river water quality. En D. Li y S. Liu (eds.), *Water quality monitoring and management* (pp. 211-220). Academic Press.
- Loaiza, J. G., Rangel-Peraza, J. G., Sanhouse-García, A. J., Monjardín-Armenta, S. A., Mora-Félix, Z. D., y Bustos-Terrones, Y. A. (2021). Assessment of water quality in a tropical reservoir in Mexico: seasonal, spatial and multivariable analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18 (14), 1-20, en <https://doi.org/10.3390/ijerph18147456>.
- Malakootian, M., y Nouri, J. (2010). Chemical variations of ground water affected by the earthquake in Bam Region. *International Journal of Environmental Research*, 4 (3), 443-454, en <https://dx.doi.org/10.22059/ijer.2010.229>.
- Martinez, V., Abascal, F., Esteller, M. V., Bibiano, L., y Bulbulian, S. (2002). Water quality in a reservoir used for carp production, *Geofísica Internacional*, 41 (4), 421-427, en <https://doi.org/10.22201/igeof.0016>.
- Marx, J. (2003). Possible role for environmental copper in Alzheimer's disease. *Science*, 301 (5635), 905, en <https://www.science.org/doi/10.5555/sageke.2003.33.or14?cookieSet=1>.
- McCulligh, C. y Vega Fregoso, G. (2019). Defiance from down river: deflection and dispute in the urban-industrial metabolism of pollution in Guadalajara. *Sustainability*, 11 (22), 1-26., en <https://doi.org/10.3390/su11226294>.
- Moore, J. W. (1991). *Inorganic contaminants of surface water*. Springer-Verlag.
- National Research Council (2001). *Arsenic in drinking water: 2001 update*. National Academy.
- Naciones Unidas. (2022). *Objetivos de Desarrollo Sustentable: Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*. Naciones Unidas, en <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>.
- Palos Delgadillo, H., Grave Prado, J. H., y Márquez Enríquez, S. M. (2012). La contaminación del río Santiago en el tramo de las poblaciones de Juanacatlán y El Salto, Jalisco, un área natural no protegida. En S. Peniche Camps, G. Zavala García, E. Macías

- Franco, F. González González, H. Cortés Fregoso y M. Guzmán Arroyo (eds.), *III Seminario Internacional sobre la Cuenca del Río Santiago "Retos y perspectivas de las áreas naturales protegidas"* (pp. 103-112). Universidad de Guadalajara.
- Page, M. J., Moher, D., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., Stewart, L. A., Thomas, J., Tricco, A. C., Welch V. A., Whiting, P., y McKenzie, J. E. (2021). PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372 (160), 1-36, en <https://doi.org/10.1136/bmj.n160>
- Pérez Cutillas, P., Amado Álvarez, J. P., Segovia Ortega, E. F., Conesa García, C., y Alarcón Cabañero, J. J. (2019). La degradación ambiental y sus efectos en la contaminación de las aguas superficiales en la cuenca del río Conchos (Chihuahua-México). *Cuadernos Geográficos*, 58 (1), 47-67, en <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i1.6636>.
- Quevedo-Castro, A., Lopez, J. L., Rangel-Peraza, J. G., Bandala, K., y Bustos-Terrones, Y. (2019). Study of the water quality of a tropical reservoir. *Environments*, 6 (1), 1-14, en <https://doi.org/10.3390/environments6010007>
- Roşca, O. M., Dippong, T., Marian, M., Mihali, C., Mihalescu, L., Hoaghia, M., y Jelea, M. (2020). Impact of anthropogenic activities on water quality parameters of glacial lakes from Rodnei mountains, Romania. *Environmental Research*, 182, 1-11, en <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109136>.
- Rubio-Arias, H., Quintana, C., Jimenez-Castro, J., Quintana, R., y Gutierrez, M. (2010). Contamination of the Conchos River in Mexico: does it pose a health risk to local residents? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7 (5), 2071-2084, en <https://doi.org/10.3390/ijerph7052071>.
- Sajeev, S., Sekar, S., Kumar, B., Senapathi, V., Chung, S. Y. y Gnanachandrasamy, G. (2020). Variations of water quality deterioration based on GIS techniques in surface and groundwater resources in and around Vembanad lake, Kerala, India. *Geochemistry*, 80 (4), 1-21, en <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2020.125626>.
- Santa Fajardo, L. M., Bom-Camargo, Y. I., Fajardo Calderón, C. L., y Macías Ramírez, V. H. (2021). Responsabilidad social pública para contribuir a la consolidación de los Objetivos del Desarrollo Sostenible. *Jurídicas CUC*, 17(1), 211-252, en <https://doi.org/10.17981/juridcuc.17.1.2021.08>.
- Scott, C. A., Zarazúa, J. A., y Levine, G. (2000). *Urban-wastewater reuse for crop produc-*

- tion in the water-short Guanajuato River basin, Mexico* (documento de trabajo, 41). International Water Management Institute.
- Sekaluvu, L., Zhang, L., y Gitau, M. (2018). Evaluation of constraints to water quality improvements in the Western Lake Erie Basin. *Journal of Environmental Management*, 205, 85-98, en <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.063>.
- Silva, J. A. (2020). Mexico's efforts to improve its water management systems. *Espacios*, 41 (17), 1-12, en <https://www.revistaespacios.com/a20v41n17/a20v41n17p02.pdf>.
- United States Environmental Protection Agency (EPA) (2022, abril 14). *Integrated Risk Information System*. EPA, en <https://www.epa.gov/iris>.
- 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, en <http://dx.doi.org/10.22201/ij.24485306e.2021.2.15337>.
- Vargas, M. (coord.) (2021). *Transnational corporations and free trade in Mexico caravan on the social and environmental impacts* [archivo PDF]. TNI, en https://www.tni.org/files/publication-downloads/report_caravan_toxitourmexico_eng.pdf.
- Varol, M. (2019). Spatio-temporal changes in surface water quality and sediment phosphorus content of a large dam in Turkey. *Environmental Pollution*, 259, 1-9, en <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113860>.
- World Health Organisation (WHO) (2017). *Water quality and health: review of turbidity: information for regulators and water suppliers* [archivo PDF]. WHO, en <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254631/WHO-FWC-WSH-17.01-eng.pdf>.
- World Wildlife Fund (WWF) (2009). *The Rio Conchos project: restoring a desert lifeline* [archivo PDF]. WWF, en <https://assets.wwf.org.uk/downloads/4779fieldreport3.pdf>.
- Yaghoubi, B., Hosseini, S. A., Nazif, S., y Daghighi, A. (2020). Development of reservoir's optimum operation rules considering water quality issues and climatic change data analysis. *Sustainable Cities and Society*, 63, 1-16, en <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102467>.

III. Regulación ambiental y fomento a las Pymes en México*

CLAUDIA IVETTE HERNÁNDEZ GARCÍA¹

MARIANA MARCELINO ARANDA²

ALEJANDRO D. CAMACHO³

Resumen

Las Pymes en México aportan 52% del PIB y generan alrededor de 70% del empleo formal. Estas empresas utilizan grandes cantidades de energía e insumos que provienen de los recursos naturales y causan un impacto ambiental multinivel. Por otro lado, están los compromisos adquiridos por nuestro país en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sustentable. El objetivo de este trabajo es conocer las políticas públicas, los apoyos y la normatividad en materia ambiental relacionada con las Pymes. Desde la década de 1980 se estructura un marco regulatorio basado en el artículo 25 constitucional, en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y al menos en 13 leyes federales y sus correspondientes ordenamientos estatales y municipales. En el comercio internacional, las Pymes requieren certificaciones ambientales. Sin embargo, en general las Pymes en México carecen de los elementos para cumplir la normatividad ambiental, lo que les resta competitividad y les restringe acceso a mercados y a fi-

* Capítulo derivado de los proyectos SIP-IPN 20220772: "Estrategias sustentables para el fortalecimiento del sector empresarial en México", y SIP-IPN 20222045: "Efectos del cambio de estatus del área de protección del Nevado de Toluca, Estado de México, México".

¹ Doctora en Zoología. Profesora-investigadora de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB), Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0521-6962>

² Doctora en Ciencias Administrativas. Profesora-investigadora, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería, Ciencias Sociales y Administración (UPIICSA), Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4997-0617>

³ Doctor en Ecología Química. Profesor-investigador de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB), Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4791-1912>

nanciamiento. Para atender las necesidades de las Pymes, el Estado debe implementar políticas públicas e instrumentos que funcionen en la práctica. Se han desarrollado mecanismos de apoyo a este sector que van desde incentivos fiscales hasta soporte financiero y técnico, aunque la cobertura es limitada.

Palabras clave: pymes, normatividad ambiental, certificación ambiental.

Introducción

La relación entre pobreza-ambiente se ha descrito desde la década de 1970: a mayor pobreza el deterioro ambiental también se incrementa. Esta relación entre ambos factores desencadena un círculo vicioso que provoca una espiral descendente que sumerge a las poblaciones vulnerables en un estado de miseria e indefensión en la que los recursos naturales son agotados y donde su importancia queda absolutamente relegada (Rodríguez *et al.*, 2006).

Se ha escrito mucho acerca de este fenómeno y es evidente que el modelo económico global incentiva la perpetuación de este perverso proceso de pobreza y deterioro de los recursos naturales (Valle García, 2015).

El consumismo y la acumulación de bienes como la forma para calificar el progreso individual y colectivo ha llevado al crecimiento desordenado de las ciudades y al desarrollo de la industria que sólo busca producir a costa de las zonas rurales y de la explotación del entorno natural a niveles inmorales (Carosio, 2010).

Sin duda, esta realidad ha dado lugar a reflexiones acerca de quién afecta más al ambiente, si unas cuantas personas en los países ricos o los miles de millones de pobres que existen en el mundo. No extraña, entonces, la incorporación de la variable ambiental a los planes de desarrollo de las naciones, pues se ha hecho evidente que el uso que se le dé a los recursos naturales es un factor relevante en temas de generación de empleo y de bienestar.

El tema del aprovechamiento racional de los recursos naturales en el mundo tiene tal relevancia que en 2002 se reunieron representantes de 178

gobiernos en la Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible, donde se señaló como punto focal que “la erradicación de la pobreza representa el mayor desafío del mundo actual y es requisito indispensable para lograr el desarrollo sostenible, en particular en los países en desarrollo” (PNUMA, 2002). Este encuentro dio como resultado la Agenda 21 y posteriormente, en 2015, la ONU presenta la Agenda 2030 firmada por 193 países donde se establecen 17 objetivos y 169 metas y se plantea una hoja de ruta para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos sin comprometer los recursos para las futuras generaciones

A partir de estas reuniones la idea de incorporar factores ambientales al desarrollo económico se ha vuelto imprescindible en el mundo y ha permeado también en los grandes organismos internacionales, como la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la Organización Mundial de Comercio (OMC), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Banco Mundial, el Fondo Monetario Internacional (FMI), la Organización Internacional del Trabajo (OIT), por mencionar algunos, y está presente en diferentes acuerdos de libre Comercio que han firmado las naciones.

Sin embargo, la adición de conceptos económicos que contemplan la variable ambiental no ha sido la solución al problema de la pobreza ni al constante avance del deterioro ambiental. A la fecha, tanto en México como en el mundo ha prevalecido un enfoque reduccionista y políticas públicas mal enfocadas con avances muy limitados.

Bajo este contexto resulta necesario analizar el papel que juegan las diversas industrias, no sólo como generadoras de empleo, bienes y servicios, sino como entes que demandan recursos naturales. De particular importancia resultan las pequeñas y medianas empresas (Pymes) por tratarse de un componente fundamental en la economía de las naciones.

El objetivo de este documento es analizar el papel de las Pymes en el desarrollo del país, tomando en cuenta el histórico manejo de la economía nacional, así como las regulaciones a las que se ven sometidas y la importancia de que éstas se conformen bajo una regulación ambiental coherente con la realidad nacional.

Desarrollo: situación general de las Pymes y su relación con el ambiente

Según cifras del Banco Mundial, México se sitúa como la decimoquinta economía del mundo y la cuarta de América (BM, 2022). La base de la economía mexicana se centra en las Pymes, ya que éstas integran la mayoría del conjunto empresarial del país, siendo parte fundamental de la estabilidad y el desarrollo económico nacional y regional (Saavedra *et al.*, 2012).

Una Pyme es una empresa que puede estar constituida por uno y hasta 250 empleados, con ventas anuales que no superan los 250 millones de pesos; se trata de empresas que fueron creadas con un bajo nivel de inversión, heterogéneas y diversas, que por su organización y su capacidad tecnológica no suelen participar en mercados internacionales (SE, 2022).

De acuerdo con cifras del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2021), la esperanza de vida promedio de una empresa recién creada en México es de 7.8 años y sólo dos de cada 10 logran superar los 10 años de vida. Se estima que hasta 2021 existían cerca de 4.5 millones de Pymes, las cuales contribuyen con alrededor del 52% del producto interno bruto (PIB) y generan 70% del empleo formal.

Los sectores que destacan por su aportación a la economía nacional son los agrícolas, ganaderos, acuicultores, mineros, artesanos, manufactureros, comerciales, prestadores de servicios turísticos y culturales (INEGI, 2022).

De acuerdo con resultados de la Encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (Enaproce), realizada en 2019, y con los censos económicos 2019 del INEGI una Pyme posee ventajas sobre grandes empresas, ya que su estructura sencilla les permite tomar decisiones con rapidez y adaptarse a nichos de mercado específicos en los cuales no compiten empresas de gran envergadura; sin embargo, estas mismas circunstancias las limitan en su capacidad competitiva y de expansión por lo que son más vulnerables ante las crisis por contar con menor cantidad de ingresos (Enaproce, 2019).

Las Pymes en México se enfrentan a la falta de capital, ya sea por desconocimiento de la existencia de instrumentos financieros y programas

sectoriales o bien por no tener capacidad organizacional para adquirirlos (CFI, 2019).

Por otra parte, se enfrentan a serias dificultades para competir en el mercado global, limitando su capacidad de expansión y posicionamiento frente a las grandes empresas, situación que puede estar relacionada con la falta de tecnología de vanguardia y la poca capacitación del personal (CFI, 2019).

Aun con todas estas limitantes, las Pymes en México operan, y son la base del sustento de 90% de los mexicanos y su forma de operar es determinante no sólo para su subsistencia sino para el desarrollo nacional (Enaproce, 2019).

Pero ¿qué relación tienen las Pymes y el ambiente? Aunque a primera vista no resulte tan obvio, las Pymes tienen como meta generar bienes y servicios que de una u otra forma tienen su origen en materia prima que se obtiene de los recursos naturales; así que las cantidades, la forma en la que se extraen, se procesan y se usan esos recursos impacta de manera directa los ecosistemas de nuestro país.

Por lo tanto, si más de 90% de la actividad industrial en nuestro país proviene de las Pymes (Censo Económico, 2019), resulta evidente que éstas demandan una enorme cantidad de recursos naturales para obtener las materias primas de las que dependen.

México posee una gran diversidad de recursos, lo cual representa una enorme ventaja para el establecimiento de Pymes, ya que es posible encontrar en la mayor parte del territorio recursos aprovechables, por lo que a lo largo del territorio estas empresas hacen uso de los ecosistemas, convirtiendo a los recursos naturales en el sostén de nuestra economía.

No obstante, es importante señalar que la visión de México como el “cuerno de la abundancia” es poco realista. Nuestro país presenta un ambiente muy fragmentado, con una topografía accidentada que dificulta la construcción de caminos y reduce la eficiencia de transporte, lo que impacta en las cadenas productivas.

La variedad de ecosistemas hace poco realista la visión de producción en masa de cualquier bien, otorgándole a cada región del país una característica que le confiere un potencial único y limitado.

Por ejemplo, México posee pocas áreas propicias para la agricultura,

sólo seis estados aportan 53% del volumen agrícola (Michoacán, Jalisco, Sinaloa, Veracruz, Chihuahua y Sonora) (Sarukhán, 2008), y sólo las regiones áridas y semiáridas del norte del país (Chihuahua, Coahuila, Durango, Baja California Norte y Sur, Sonora, Zacatecas, San Luis Potosí y Nuevo León) son aptas para la ganadería tecnificada. Y aunque sus costas son muy extensas su potencial pesquero es bajo; finalmente, la región sur-este del país, siendo rica en ecosistemas exuberantes y altamente diversos, poco propicia para la extracción en masa de cualquier recurso (Sarukhan, 2008). Es evidente que las Pymes en México se enfrentan a un entorno heterogéneo.

Las Pymes en nuestro país son productoras de bienes y servicios a nivel regional, nacional y para exportación; son entidades que abastecen la cadena productiva y generan empleos que activan la economía y el desarrollo, pero al mismo tiempo también son estructuras financieras y sociales que demandan recursos naturales y generan contaminantes y residuos que impactan negativamente al ambiente y a los organismos que lo habitan.

En la mayoría de los casos las Pymes en México no poseen capacidad para disponer de manera adecuada sus desechos, muchos de los cuales son vertidos al ambiente sin ningún tipo de tratamiento; además está el problema de los residuos generados como consecuencia de la fabricación de productos desechables o de la obsolescencia programada.

Incorporar a las Pymes a los modelos sostenibles de extracción y manejo de recursos es indispensable para salvaguardar el capital natural de nuestro país. De igual manera resulta necesario eficientar los procesos productivos y contar con programas adecuados de manejo de residuos, como parte de básica de los planes de trabajo de las Pymes.

Actualmente las Pymes se encuentran en una situación muy vulnerable debido a la alta competencia, la falta de financiamiento, el reducido acceso a tecnología innovadora, así como a las situaciones desfavorables de la economía nacional, por lo que muchos emprendedores y empresarios no ven la necesidad ni la importancia de tomar en cuenta aspectos ambientales en sus manuales de operación; por el contrario, perciben que integrar variables ambientales representa un problema y un obstáculo más que deben vencer para consolidarse y lograr crecer en este mundo globalizado (BM, 2020).

Pocos empresarios entienden que el fracaso de sus negocios está vinculado no sólo con factores de competitividad sino también con la negativa de incorporar el componente ambiental a su operación, lo que sin duda coloca a las Pymes en una situación de rezago (CFI, 2019).

Existe poca información sobre las Pymes en relación con temas ambientales y en su mayoría proviene de estudios particulares o de organizaciones internacionales de comercio.

Datos del último censo económico de 2019 desarrollado por el INEGI indican que 66% de las Pymes, ha implementado alguna medida de sostenibilidad; sin embargo, 77% de éstas lo ha hecho con recursos propios, por lo que la falta de incentivos financieros parece ser el principal obstáculo para incorporarse al cuidado ambiental.

El hecho de que dos terceras partes de las Pymes mexicanas hayan adoptado alguna medida de sostenibilidad parece prometedor; sin embargo, las medidas que se han adoptado son muy básicas e insuficientes.

De las Pymes que han incorporado alguna practica favor del ambiente, 68% ha implementado programas para la reducción de plástico, papel y residuos, reciclaje, prevención de la contaminación y adopción de fuentes de energía limpias (por ejemplo y cambio de focos incandescentes por lámparas ahorradoras y Led) y 39% ha apostado por la integración de indicadores y métricas de sostenibilidad (Enaproce, 2019).

En un estudio realizado por la empresa internacional Capterra (Peláez, 2021), se estimó que las Pymes mexicanas invierten entre 2 y 10% de sus ganancias en incentivos de sostenibilidad ambiental, señalando que los principales motivos son: ahorrar energía para evitar gastos (45%), ser más competitivos (37%), desarrollar productos amigables con el ambiente (36%), ser parte del cambio de mentalidad de la sociedad (33%) y buscar oportunidades en nuevos mercados (32%). El informe 44 del Grupo Inter gubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2019) informó que el comportamiento de los consumidores se ha modificado en los últimos años, incrementándose el rubro de personas con un alto grado de conciencia e involucramiento en temas ambientales, por lo que sus opciones de compra están enfocadas a productos sostenibles, lo cual abre una ventana de oportunidad para las Pymes.

Este panorama crea un área de oportunidad para las Pymes donde in-

corporar medidas a favor del ambiente genera una mejor imagen de su marca, lo que podría incidir en la captación de nuevos clientes y crear la posibilidad de su entrada a nuevos mercados (CEPAL, 2006). Ante esta realidad, la industria tendrá que enfrentarse no sólo al constante cambio de la demanda de los consumidores y de la tecnología, sino que también tendrá que incorporar modelos de gestión que incluyan medidas de protección al ambiente y estar informados de la legislación que en materia ambiental deberán cumplir.

Origen y evolución de la normatividad ambiental aplicable a las Pymes

En la actualidad a nivel mundial se reconoce la relevancia socioeconómica y territorial de las Pymes que en general reciben apoyo mediante diversos programas e instrumentos gubernamentales. Esto incluye el desarrollo de leyes que regulen su operación, incluyendo normas en materia ambiental (Di Tomasso y Dubbini, 2000).

En México fue a partir de la década de los 1980 cuando comenzó a considerarse el efecto negativo que produce el desarrollo económico sobre el ambiente y se formularon leyes que incorporaron medidas ambientales encaminadas a mitigar el impacto del desarrollo.

La base de las políticas públicas de la regulación de las Pymes se estableció durante ese periodo, cuando el Estado comenzó a establecer políticas de industrialización sustitutivas de importaciones que afectaron el funcionamiento de las empresas.

En esa época se estableció el neoliberalismo como modelo económico en el país a partir de 1982, y bajo el gobierno del presidente Miguel de la Madrid se privatizaron las principales empresas paraestatales tras una serie de reformas a la Constitución que le permitieron al Estado obtener recursos para hacer frente a la crisis económica (Arcudia, Torres y Orta, 2018).

En esta primera etapa de la privatización las empresas mexicanas tuvieron que enfrentarse a la competencia del exterior ante la apertura de la economía al comercio internacional. Los permisos necesarios para las im-

portaciones fueron eliminados y los aranceles se redujeron considerablemente. Esta rápida apertura comercial comenzó a generar presión sobre las Pymes que no tenían herramientas para competir (Cárdenas, 2010).

La apertura sin freno de la actividad comercial limitó la presencia del Estado en la industria que pasó a tener representatividad en 28 ramas industriales en 1982 a sólo 12 en 1988, perdiendo prácticamente por completo presencia en la industria automotriz, textil y química básica, y quedándose con una presencia limitada en la minería y en la producción de azúcar (Guillén, 2006).

Durante el periodo de gobierno de Carlos Salinas de Gortari tuvieron lugar los principales cambios políticos y económicos del mundo: el reformismo en el Reino Unido, el proceso de unificación europea, la caída del muro de Berlín y el debilitamiento de la URSS.

Bajo el mandato se fomentó la apertura sin freno de la actividad comercial; la flexibilidad laboral que propició la desaparición de los contratos colectivos de trabajo y con ello las prestaciones de ley; el congelamiento del salario mínimo; la evasión fiscal; el abandono del campo, de la salud y de la educación, privilegiando su privatización (Dussel, 2004), lo que afectó negativamente a las empresas medianas y pequeñas que se enfrentaron a una competencia para la que no estaban preparadas.

En esta etapa las Pymes se encontraban muy debilitadas, su escenario más adverso se presentó durante el sexenio salinista cuando se firmó el Tratado de Libre Comercio (TLC) entre los Estados Unidos, Canadá y México que creó un bloque económico de gran importancia a nivel mundial entre las tres naciones bajo el principio de la libre competencia, sin embargo, México se unió a este tratado en desigualdad de circunstancias, pues con una economía seis veces menor que la de Canadá y ocho veces menor que la de Estados Unidos cedió su autonomía alimentaria al importar los principales granos de subsistencia.

Para 1994 México estaba viviendo una profunda crisis económica, la balanza de pagos presentaba un elevado déficit y las exigencias de los acreedores del país eran constantes (el Fondo Monetario Internacional y del Tesoro de los Estados Unidos), por lo que Ernesto Zedillo Ponce de León creó el Programa de Capitalización Temporal (Procapte) para resarcir el capital de los bancos mediante la adquisición de deuda por parte del

Fobaproa (Cárdenas, 2010), lo que dejó sin recursos al país para financiar programas de impulso a las Pymes.

Esta política de fomento al comercio internacional se mantuvo durante los sexenios de Miguel de la Madrid, Carlos Salinas, Ernesto Zedillo, Vicente Fox, Felipe Calderón y Enrique Peña Nieto, quienes implementaron el modelo económico neoliberal en México, fomentando la inversión extranjera y el libre comercio y firmando cada uno en sus administraciones nuevos convenios comerciales.

Esta política comercial y de financiamiento económico privilegió al gran capital nacional y extranjero, evitando el desarrollo de la pequeña y mediana empresa del país y permitiendo que se consolidaran monopolios.

Desde la década de 1990 el modelo neoliberal demostró sus efectos negativos; sin embargo, se ha mantenido hasta nuestros días. En México el gobierno actual (2018-2024) intenta, al menos en el discurso, dejar atrás el modelo neoliberal instaurado durante los últimos 36 años.

En este contexto se articula la actual política pública que sustenta la realidad de las Pymes, pues a lo largo de los últimos años se han implementado diversos programas de apoyo, los cuales se orientan al financiamiento, la información, la consultoría y la asistencia técnica para el fortalecimiento de la industria.

Por tratarse de un asunto de interés nacional, es el Estado es el que interviene en la regulación de las Pymes y sus esfuerzos se han enfocado principalmente en dos rubros: *a)* mecanismos, políticas de fomento y creación de instituciones asistenciales o de apoyo y *b)* formulación y supervisión de leyes y normas a las que deben ajustarse, incluidas las ambientales.

Política de fomento y asistencia a las Pymes

En nuestro país los programas, planes y políticas de crecimiento económico se establecen en el Plan Nacional de Desarrollo (PND), que es de carácter sexenal. Se trata de un instrumento que deriva de la Ley de Planeación, la cual se basa en los artículos 25 y 26 de la Constitución mexicana que establece la rectoría del Estado en el desarrollo nacional y la obligación del

gobierno de instaurar un sistema de planeación democrática para el desarrollo nacional.

El artículo 14 de La ley de Planeación establece que es facultad de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) coordinar y administrar la elaboración del PND, tomando en cuenta las necesidades de los diversos sectores sociales, así como las propuestas de diversos niveles de gobierno y sus secretarías.

El diseño de las políticas públicas contenidas en el PND debe atender las necesidades del sector empresarial y las ramas industriales, así como contar con estrategias que permitan el desarrollo económico y social de los mexicanos, por lo que se vincula con varias secretarías de Estado y diversas cámaras de comercio, lo que ha dado como resultado la creación de diversos programas e instituciones orientados a cumplir con dichas metas. La aplicación de estos programas se ve reflejada en los recursos que se asignan a diversas secretarías de Estado para hacerlos llegar a los mexicanos que los soliciten.

De manera general podemos dividir los apoyos otorgados a las Pymes en dos rubros: los que son de tipo financiero (estímulos fiscales, financiamientos y microcréditos) y los que brindan algún tipo de asesoría (información, capacitación, consultoría, encuentros entre pares, premios y reconocimientos, cabildeo y simplificación administrativa), por lo que en la actualidad para la implementación de esos programas intervienen 12 secretarías de Estado a través de 131 programas gubernamentales, coordinados por la Secretaría de Economía.

Aunque la mayoría de los programas de fortalecimiento empresarial proviene de la Federación, cada estado, por su parte, tiene sus propios mecanismos de apoyo técnico y financiero que respaldan a las Pymes locales.

Ya que el PND tiene una vigencia sexenal, no es raro que al finalizar cada periodo de gobierno se terminen ciertos programas para dar paso a nuevas políticas del gobierno entrante.

En la actualidad se cuenta con programas como Crezcamos Juntos que ofrece el Instituto Nacional del Emprendedor (Inadem) mediante el cual se le condona a las Pymes, durante su primer año de funcionamiento, el pago de impuestos, y Sembrando Vida, que tiene un doble propósito: combatir la pobreza a través de la ocupación de los más desfavorecidos en zo-

nas rurales y combatir el cambio climático por medio de la reforestación, otorgando a cada participante \$5 500 pesos al mes por realizar labores de siembra, cuidado y cosecha; sin embargo, existen fuertes cuestionamientos a este programa que resulta más un esquema asistencial y resta por evaluar la viabilidad real de la reforestación.

El Estado también tiene la función de apoyar al sector empresarial en tiempos de crisis por lo que existen fondos destinados a este rubro. Derivado de la pandemia de Covid-19, durante algunos periodos de los años 2020 y 2021 se cerraron actividades “no esenciales”, lo cual genera afectaciones en diferentes niveles de las cadenas productivas, lo que originó la quiebra de muchas empresas y desempleo a gran escala, por lo que el Estado implementó de manera emergente mecanismos de apoyo a las Pymes.

Los principales programas que se establecieron con el fin de rescatar a las pequeñas y medianas empresas fueron las siguientes:

- Apoyo Solidario a la Palabra.
- Crédito a la Palabra.
- Programa Mercado Solidario.
- Programa de Apoyo a Fondo Perdido.

Según datos de la Secretaría de Economía (2022), se otorgó un millón de microcréditos a cada uno de los programas anteriores.

Finalmente, en el rubro de políticas y asistencia a las Pymes el Estado también considera la creación y el impulso de programas de cooperación internacional, como es el caso del reciente convenio establecido por la Secretaría de Economía y el Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima (BMWK) alemán, que dio origen al Programa Fit for Partnership with Germany dirigido a pymes mexicanas.

Conjunto de leyes y normas que rigen a las Pymes

El gobierno debe establecer la regulación sobre las Pymes para el cuidado del ambiente, ya que, si no hace, las empresas harían uso de los recursos sin considerar los impactos ambientales causados, ya sea por sus métodos extractivos, productivos o de mercado.

Cualquier producción de bienes y servicios involucra externalidades negativas (generación de emisiones contaminantes) que no son tomadas en cuenta por los productores y que sólo pueden ser controladas a través de la intervención gubernamental (Martínez, 2019).

La base de la regulación ambiental, por tanto, es una atribución de la Federación y se sustenta en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, donde se establecen las garantías individuales y las normas jurídico-ambientales que sirven de marco regulatorio a la reglamentación ambiental.

Dicho marco normativo ambiental se basa en el artículo 4º, párrafo cuarto, y en el artículo 25, párrafos primero y sexto, donde se establece que

toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar [y que] corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable, que fortalezca la soberanía de la nación y su régimen democrático y que, mediante el fomento del crecimiento económico y el empleo y una más justa distribución del ingreso y la riqueza, permita el pleno ejercicio de la libertad y la dignidad de los individuos, grupos y clases sociales, cuya seguridad protege esta Constitución [quedando asentado de manera irrefutable que] bajo criterios de equidad social y productividad se apoyará e impulsará a las empresas de los sectores social y privado de la economía, sujetándolos a las modalidades que dicte el interés público y al uso, en beneficio general, de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio ambiente.

Aunque existen otros artículos que sustentan la obligación del Estado sobre la regulación ambiental, queda claro en estos dos artículos que es competencia de la Federación promover el uso adecuado de los recursos naturales e impulsar el desarrollo social bajo los principios de la sustentabilidad.

Con base en estos principios el Estado ha desarrollado diversos instrumentos de política pública para regular el comportamiento ambiental de las Pymes, considerando cuatro líneas de acción básicas: 1) mecanismos de comando y control, 2) incentivos económicos, 3) inversión pública y 4) esquemas voluntarios.

1. Mecanismos de comando y control

Entre estos mecanismos se encuentran las leyes y las normas de aplicación obligatoria, la más importante de las cuales es la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente (LGEEPA). Además, existen otras 13 leyes federales (cuadro 1), cada una con sus reglamentos. De estas leyes y reglamentos se derivan las diferentes normas: NOM: Norma Oficial Mexicana, y NMX: Norma Mexicana, aplicables a cada rubro ambiental; agua, suelo, aire, desarrollo rural y residuos.

CUADRO 1. *Leyes federales de carácter ambiental en México*

-
- Ley de Aguas Nacionales
 - Ley General de Prevención y Gestión Integral de los Residuos
 - Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable
 - Ley General de Vida Silvestre
 - Ley de Desarrollo Rural Sustentable
 - Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos
 - Ley Federal de Pesca y Acuicultura Sustentable
 - Ley Federal sobre Metrología y Normalización
 - Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados
 - Ley de Productos Orgánicos
 - Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos
 - Ley Federal de Responsabilidad Ambiental
 - Ley General de Cambio Climático
-

FUENTE: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2022.

Además, existen ordenamientos estatales y municipales y otros convenios de carácter internacional que deben cumplirse.

En los últimos 40 años México se ha sumado a cerca de 72 acuerdos internacionales sobre cuidado del ambiente y desarrollo sostenible (Gaceta del Senado LXIV/1SPR-5/95687,2019) (cuadro 2), con lo cual no sólo pretende contribuir a la conservación del capital natural del mundo, sino, a través de estos convenios, sentar las bases para la operación de la industria de la cual forman parte las Pymes.

La integración de México a estos convenios internacionales lo obligan a asumir compromisos que se ven reflejados en la normatividad ambiental

CUADRO 2. *Tratados internacionales más relevantes en los que participa México*

Rubro	Nombre del tratado
Agua y su biota asociada	Comisión Ballenera Internacional (CBI)
	Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CIT)
	Convención para la Conservación y Desarrollo del Medio Marino de la Región del Gran Caribe (Convenio de Cartagena)
	Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas
	Organización Marítima Internacional (OMI)
	Convención Relativa a los Humedales de Importancia internacional, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (RAMSAR)
Aire	Protocolo de Montreal Relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono
	Convención de Viena para la Protección a la Capa de Ozono
Biodiversidad	Protocolo de Nagoya sobre Acceso a los Recursos Genéticos y Participación Justa y Equitativa en los Beneficios Derivados de su Utilización al Convenio sobre la Diversidad Biológica
	Artículo 15 del Convenio sobre Diversidad Biológica, Acceso a Recursos Genéticos y Distribución Equitativa de los Beneficios
	Convenio sobre Diversidad Biológica (CBD)
	Comité Intergubernamental sobre Propiedad Intelectual y Recursos Genéticos, Conocimientos Tradicionales y Folclore (CIG, OMPI) de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (CIG, OMPI)
	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)
Cambio climático	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y su Protocolo de Kioto (CMNUCC)
	Diálogo Internacional sobre Evolución de Mercados de Carbono
Comercio y ambiente	Comisión de Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas (CDS)
	Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES)
	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE)
	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI)
	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)
Sustancias químicas	Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación
	Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (Convenio de Estocolmo)

Convenio de Róterdam sobre el Consentimiento Fundamentado Previo Aplicable a Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto de Comercio Internacional

Indicadores: Convenios de Basilea, Estocolmo y Róterdam (Indicadores de Seguimiento Agenda Gris)

Foro Intergubernamental sobre Seguridad Química (FISQ)

Organización para la Prohibición de Armas Químicas (OPAQ)

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA),
Subdivisión de Sustancias Químicas

Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a nivel Internacional (SAICM)

FUENTE: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2022.

de nuestro país integrando el marco legal bajo el cual opera la industria, incluyendo a las Pymes.

De todos estos mecanismos de comando y control el más usado es el de las Normas Ambientales, donde el Estado marca ciertos límites a la cantidad de un contaminante para luego vigilar y hacer cumplir el mandato.

Las normas oficiales como mecanismo de control de la contaminación y deterioro ambiental surgieron con el propósito fundamental de cuidar la salud humana y los recursos naturales. Durante casi una década, este sistema regulatorio se basó en permisos, inspecciones y sanciones (Normas Técnicas Ecológicas [NTE]), pero en la década de los 1990 se reformó el marco normativo para adecuarse a la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, lo cual dio origen a las normas oficiales mexicanas (NOM).

Este cambio en la política pública llevó a la implementación de leyes sectoriales (agua, aire, etc.), por industria y por tipo de contaminante, lo que lo redujo considerablemente el número de normas e hizo más sencillo su cumplimiento y la verificación.

En la actualidad, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) es la encargada de gestionar las normas ambientales, a través de sus órganos descentralizados, con la participación de la academia y del sector industrial. En la actualidad existen en vigencia 132 normas ambientales aplicables a la pequeña y mediana industria, correspondientes a las series NOM-SEMARNAT, NOM-CONAGUA, NOM-SCT, NOM-PESC repartidas en 15 materias diferentes (cuadro 3).

CUADRO 3. Normas oficiales mexicanas vigentes y aplicables a las Pymes

<i>Sector</i>	<i>Número</i>
Materia de Aguas Residuales	3
Materia de Medición de Concentraciones	5
Materia de Emisiones de Fuentes Fijas	16
Materia de Emisiones de Fuentes Móviles	10
Materia de Residuos Peligrosos	12
Materia de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial	13
Materia de Protección de Flora y Fauna	30
Materia de Suelos	6
Materia de Contaminación por Ruido	4
Materia de Impacto Ambiental	10
Materia de Pesca	1
Materia de Lodos y Biosólidos	1
Materia de Metodologías	1
Normas de la Comisión Nacional del Agua	13
Normas de Elaboración Conjunta con otras Secretarías	7
TOTAL	132

FUENTE: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2022.

2. Incentivos económicos

También existen los mecanismos de incentivos económicos, los cuales pertenecen al ámbito de la política tributaria y de precios y tarifas. Son instrumentos que representan un estímulo al cumplimiento ambiental y van desde la deducción de 100% del monto de las inversiones en equipo para prevenir y controlar la contaminación ambiental hasta la exención arancelaria para el sector industrial (SE, 2022, y SHCP, 2022).

Un ejemplo de programas enfocados a los incentivos económicos se da en materia de energías renovables, a través de la Ley del Impuesto sobre la Renta, que permite que las inversiones relacionadas con maquinaria y equipo para la generación de energías renovables sean 100% deducibles. Asimismo, la Ley Federal de Derechos establece la exención en el pago de impuestos por el análisis, la evaluación y la expedición de permisos para la generación de energía eléctrica a través de energías renovables. En este

punto continúa la discusión sobre la exclusividad para la Comisión Federal de Electricidad para la generación y la comercialización de energía.

También existen programas de ámbito local, como los programas que operan en la Ciudad de México; el primero, referente a la reducción del pago de impuestos sobre las nóminas por realizar actividades empresariales de reciclaje o reprocesamiento de residuos sólidos y por la implementación de programas de mejoramiento y gestión ambiental relacionados con el uso de agua potable, energía eléctrica y manejo de residuos; el segundo, relativo a la reducción del pago del impuesto predial para las empresas industriales o de servicios que adquieran, instalen y operen con tecnología o equipos que minimicen sus emisiones contaminantes.

Incluso funcionan programas de carácter internacional. Por ejemplo los certificados de reducción de emisiones que pueden obtener las Pymes de países pertenecientes al Anexo 1 del Protocolo de Kioto y que les permite invertir en proyectos bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio.

Sin embargo, según Cuevas (2016) se ha observado que muchas empresas en México, en particular las Pymes, desconocen los incentivos y los beneficios de implementar acciones sostenibles a partir de la gestión ambiental, como una estrategia de negocio que les permita obtener incentivos económicos.

Como resultado de lo anterior, son escasas las Pymes que han logrado incorporarse a los procesos de certificación de la normatividad ambiental y aun es menor el número de ellas que ha alcanzado los estándares internacionales que les permitan ser evaluadas por parte de las calificadoras bursátiles internacionales que ya han incorpora diversos índices de desempeño ambiental (ASG). Entre los indicadores importantes que miden el desempeño podemos mencionar: el Dow Jones Sustainability Indexes, el Nasdaq OMX, FTSE 4Good y el Jantzi Social Index (SE, 2013b).

3. Inversión pública

Los esquemas de inversión pública involucran programas gubernamentales de apoyo técnico-económico para el manejo eficiente de las Pymes. La Secretaría de Economía es la encargada de implementar y promover dichos programas, aunque también existe la colaboración de otras secretarías de Estado y diversos programas de ámbito estatal.

En la actualidad algunos de los programas más importantes que operan son el Fondo Pyme, el Programa Nacional de Financiamiento al Microempresario (Pronafim) y el Programa para el Desarrollo de la Industria y la Innovación (Prosoft).

Adicionalmente a los programas de inversión pública, el gobierno federal ha creado instituciones que proporcionan tanto apoyo financiero como técnico a través de entidades como el Instituto Nacional del Emprendedor (Inadem), el Banco Nacional de Comercio Exterior (Bancomext) y el Instituto Nacional de Economía Social (Inaes). Otras dependencias públicas generan estadísticas a través de la Encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (Enaproce) y del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para medir la eficiencia de dichos programas.

4. Esquemas voluntarios

Por último se encuentran los esquemas de regulación voluntaria, donde, por iniciativa las empresas se ajustan a sistemas de gestión de calidad como las normas MX, las Normas ISO y las certificaciones voluntarias gubernamentales que en conjunto permiten a las Pymes ser más competitivas a nivel internacional.

Al igual que con los otros mecanismos de regulación de las Pymes, el Estado participa activamente en la implementación de programas, certificaciones y verificación voluntaria, siendo la Semarnat, a través de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa), la encargada de llevar a cabo el Programa Nacional de Auditoría Ambiental (PNAA) que ofrece mecanismos de gestión encaminados a la mejora del desempeño. Este programa otorga una certificación ambiental a las empresas que demuestran el cumplimiento de la normatividad ambiental, al implementar mejoras en sus procesos y generar ahorros en los consumos de agua y energía y disminución de emisiones y residuos.

Estas certificaciones no son los únicos sistemas de gestión a los que se puede acceder; también está la norma ISO-14001, concebida para lograr la rentabilidad de las empresas y promover la reducción del impacto ambiental; a través de este sistema las empresas logran impactar en todos los aspectos de la gestión de su organización, mejorando su desempeño, con el

fin de optimizar el comportamiento ambiental y las oportunidades de beneficio económico.

También existen certificaciones de carácter internacional que pueden generar beneficios a las empresas que las implementan por ejemplo, obtener acceso a nuevos mercados, ahorrar en los costos de producción, mejorar su imagen comercial, ampliar su mercado y recibir incentivos fiscales (cuadro 4).

Un ejemplo de este tipo de esquemas voluntarios es la certificación LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, por sus siglas en inglés), que tiene como objetivo dar reconocimiento internacional a edificios sustentables, por lo que puede ser usada por desarrolladoras, constructoras, empresas y gobiernos de todo el mundo para obtener beneficios económicos derivados de la eficiencia energética y estímulos fiscales, así como fuentes de financiamiento.

Discusión y conclusiones.

Reflexión sobre las estrategias para mejorar la gestión ambiental de las Pymes

En este punto podemos plantear la pregunta: si existen tantos programas de apoyo a las Pymes, ¿por qué en la realidad la operación y la gestión ambiental de estas empresas es tan deficiente?

La falta de éxito de las Pymes es una realidad; a pesar de los esfuerzos del gobierno para impulsarlas, no se ha logrado un cambio de su dinámica interna en parte, por la complejidad que representa para esas empresas participar en los procesos de globalización (Gómez, 2005) y en parte, por la falta de oportunidad o por el acceso restringido a los diversos programas gubernamentales.

De tal forma que el Estado se enfrenta constantemente a varias disyuntivas: ¿qué tantos subsidios debe dar?, ¿a qué nivel de gobierno debe actuar?, ¿qué tan exigente debe ser el nivel de regulación?, y ¿qué mecanismos utilizará para alcanzar sus objetivos?, todo lo anterior, considerando su propia capacidad operativa.

Sin duda existe una gran variedad de mecanismos que impulsan el de-

CUADRO 4. *Certificaciones ambientales internacionales que pueden obtener las Pymes*

Rubro	Nombre de la certificación
Gestión ambiental global	ISO 14001 Gestión Ambiental EMAS Reglamento CE 1221/2009 Certificación de Eventos
Economía circular	Estrategia de economía circular OCS Operation Clean Sweep Residuo Cero y Desperdicio Alimentario Global EOD Declaración Ambiental de Producto ISO 14006 Gestión del Ecodiseño Fin de Condición de Residuo
Cambio climático	ISO 14064 Huella de carbono de organizaciones (GHG Protocol y especificaciones sectoriales) ISO 14067 Huella de carbono de producto (GHG Protocol, PAS 2050 y especificaciones sectoriales) EU ETS Verificación de emisiones de GEI VCS Verified Carbon Standard Asignación gratuita de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. GEI MDL Proyectos mecanismos de desarrollo limpio AC Proyectos aplicación conjunta Gold Standard (GS)
Gestión de recursos	ISO 14046 Huella hídrica (Water Foot Print Network) ISO 50001 Gestión de la eficiencia energética
Sector forestal	Gestión forestal y cadena de custodia FSC Gestión forestal y cadena de custodia PEFC BIO Masud Biocombustibles sólidos de uso doméstico ENplus Pellets de madera para usos térmicos EUTR 995 Sistema diligencia debida
Otras Industrias	Marca AENOR de Edificio sostenible AISE Sostenibilidad de detergentes UNE 22480 Gestión minera sostenible Tratamiento de vehículos al final de su vida útil Centros de recogida y recuperación de papel y cartón EA 0044 Sostenibilidad energética en CPD

FUENTE: AENOR, 2022.

sarrollo económico Pyme; sin embargo, muchos de éstos requieren monitoreo y asesoría constante por parte de la autoridad y en términos reales resultan poco factibles cuando se aplican al segmento de estas empresas.

Los instrumentos de política pública dirigidos a las Pymes deben contar con atributos difíciles de alcanzar, como eficiencia económica, accesibilidad real a los apoyos, transparencia y efectividad ambiental.

Es importante señalar que la verdadera gestión ambiental de las Pymes tiene como meta una administración correcta de todos los recursos a través de la implantación de modelos integrales y participativos que desarrollen las empresas en conjunto con el Estado (Rivas, 2009) y no simplemente hacer ajustes menores en sus procesos para mejorar su imagen corporativa.

Lograr que las Pymes mejoren su desempeño ambiental es un reto enorme, sobre todo porque se requiere resolver los problemas ya planteados desde la perspectiva del Estado y de las Pymes, pues por contradictorio que parezca cada actor enfrenta su problemática con estrategias distintas.

Para las Pymes un cambio en su gestión ambiental implica el reconocimiento de sus limitaciones y capacidades técnicas, financieras y administrativas, así como luchar contra aspectos culturales (usos y costumbres) que limitan el crecimiento de la organización, para después involucrarse en una serie de cambios que logren permear al interior y promover la competitividad.

Para el Estado implica la creación de políticas públicas y de instrumentos que sean coherentes con las necesidades de las Pymes, que logren sensibilizar al sector y que su aplicación operativa sea posible.

Conjuntar estas dos visiones es un proceso complejo; sin embargo, la mejora en la gestión ambiental deberá concretarse en la próxima década si se pretende que México se convierta en un país competitivo, a la altura de sus principales socios comerciales, y que logre cumplir los compromisos adquiridos en la Agenda 2030.

El reconocimiento de que las actuales políticas de gestión ambiental no han sido eficientes debe propiciar la reflexión sobre si existe la voluntad política para implementar y hacer cumplir la normatividad ambiental. Por otro lado, hay que determinar si las penalizaciones son poco estrictas o si el problema se basa en la incapacidad de vigilancia.

En países como México, la situación crítica de subsistencia que enfrentan las Pymes obliga a los empresarios a pensar primero en la obtención de beneficio económico y organizacional antes que de beneficio ambiental. De hecho, este mismo pensamiento impera en el sector gubernamental, ya que históricamente se ha considerado la sustentabilidad como un objetivo secundario.

La perspectiva para mejorar el desempeño ambiental de las Pymes deberá ser abordado en diversos aspectos que van desde implementar instrumentos más eficientes de gestión ambiental (como el Programa de Gestión Ambiental Rentable), hasta buscar otros mecanismos de sensibilización a los consumidores y a los productores para reconsiderar el precio justo de los productos al conseguir la correcta asignación de precios a través del reconocimiento de los recursos naturales como bienes finitos y con valor económico, pero cuyo aprovechamiento debe anteponer las necesidades de la sociedad y considerar los límites planetarios.

El impulso de productos verdes, orgánicos y producidos bajo sistemas libres de químicos a través de ecoetiquetados, así como políticas de comercio justo y economía circular, también son estrategias para lograr productos menos contaminantes y con más aceptación en el mercado.

Será importante para el éxito y la sustentabilidad de las Pymes que al mismo tiempo que se apliquen los instrumentos descritos anteriormente se trabaje en incorporar a la pequeña y a la mediana empresa los programas gubernamentales y que tengan como ejes rectores el comercio justo, la capacitación, el establecimiento de políticas de producción homogéneas, la regularización del mercado y el cuidado de los recursos naturales.

Referencias

- Arcudia, C., Torres, B., y Orta, S. (2019). La privatización de las empresas estatales en México 1982-2000. *Tlatemoani. Revista Académica de Investigación*, 30, 91-108.
- Banco Mundial (2020). *Doing business*, en <https://www.worldbank.org/commodities>.
- (2022), en <https://www.worldbank.org/commodities>.
- Cárdenas Sánchez, E. (2010). La economía en el dilatado siglo xx, 1929, 2009. En

- S. Kunz Ficker (coord.), *Historia económica general de México, de la Colonia a nuestros días* (pp. 503-548). El Colegio de México y Secretaría de Economía.
- Carosio, A. (2010). La cultura del consumo contra la sostenibilidad de la vida. *Revista Sustentabilidad*, 2 (1), 2-3.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2006). *Las Pymes en el mercado de bienes y servicios ambientales: identificación de oportunidades, políticas e instrumentos: estudios de caso de Argentina, Chile, Colombia y México*. CEPAL.
- CFI (Corporación Financiera Internacional) (2019). *Brecha financiera de las Mipyme: evaluación de las deficiencias y oportunidades en el financiamiento de micro, pequeñas y medianas entidades en mercados emergentes*. CFI.
- Cuevas, Z. I., Rocha, L. L., y Soto, F. M. (2016). Incentivos, motivaciones y beneficios de la incorporación de la gestión ambiental en las empresas. *Universidad & Empresa*, 18 (30), 121-141.
- Di Tomaso, M., y Dubbini, S. (2000). Towards a theory of the small firm theoretical aspects and some policy implications. *Desarrollo Productivo*, 87.
- Dussel, E. (2004). Pequeña y mediana empresa en México: condiciones, relevancia en la economía y retos de política. *Economía UNAM*, 1(2), 64-84.
- Enaproce (2019). *Encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de la Micro, Pequeñas y Medianas Empresa 2018 (Enaproce)*. INEGI.
- Guillén, A. (2006). Balance de la privatización en México. *Revista Iztapalapa* (núm. extraordinario), 13-26.
- INADEM (2016). *Diagnóstico 2016 del Fondo Nacional Emprendedor*. INADEM y Secretaría de Hacienda y Crédito Público.
- INEGI (2020). *Censo Nacional de Gobiernos Estatales 2021*, en <https://www.inegi.org.mx/programas/cnge/2021/>.
- INEGI (2022). *Estadística*, en <https://www.inegi.org.mx/>.
- IPCC (2019). *Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1.5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza*, en https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf.
- Martínez, S. S., Domingo, R. J., y Pelegrín, M. A. (2019). Externalidades ambientales desde el enfoque del costo para la toma de decisiones en materia ambiental: caso de una empresa cafetalera. *Retos de la Dirección*, 13 (1), 170-187.

- OCDE (2020). *Mexico policy brief, improving business environment and investment* (pp. 64-84). OCDE.
- Peláez, B. (2021, noviembre 18). *La mayoría de las Pymes en México destina entre 2 y 10% de su inversión en sostenibilidad empresarial*. Capterra, en <https://www.capterra.mx/blog/2318/PyMEs-sostenibilidad-empresarial-mexico>.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2002). *Success stories: Gender and the environment*. PNUMA.
- Rodríguez, I., y Govea, H. (2006). El discurso del desarrollo sustentable en América Latina. *Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales*, 12 (2), 37-63.
- Saavedra, G. M., y Tapia, S. B. (2012). El entorno sociocultural y la competitividad de la pyme en México. *Panorama Socioeconómico*, 30 (44).
- Sarukhán, J. (ed.). (2008). *Capital natural de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio).
- Secretaría de Economía (2022). *Estadísticas sobre pymes y desarrollo*, en <https://www.gob.mx/se>.
- Valle García, S. E. (2015). Condiciones de vida, medios de subsistencia y paisaje en la selva Lacandona: ¿incidencia de las políticas públicas? En *Pasado, presente y futuro de las regiones en México y su estudio* (pp 1-27). Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional y UNAM-CRIM.

IV. Aplicaciones de la inteligencia artificial en la transición energética*

ALMA DELIA TORRES RIVERA¹

RODRIGO FLORENCIO DA SILVA²

JUDITH SARA RAMIREZ SOSA³

Resumen

El objetivo de este estudio es describir el conjunto de aplicaciones de la IA en la transición hacia el uso de la energía con sistemas más inclusivos y sostenibles. Con este fin el diseño metodológico se ajustó a la realización de un mapeo bibliográfico para identificar las publicaciones más influyentes entre 2007 y 2022 (hasta octubre de 2022). El primer paso es la identificación de la literatura para la selección y la depuración de datos. Lo siguiente es producir un mapa de citas usando *bibliometrix scopus* para análisis y síntesis. Entre los hallazgos de la investigación destacan las aplicaciones de la IA en tres áreas en el sector energético: mejoramiento de redes inteligentes, optimización de servicios confiables de suministro de energía y tendencias del análisis para el control en la transición energética.

Palabras clave: *inteligencia artificial, transición energética, optimización.*

* Este capítulo es producto del proyecto de investigación SIP 20221906: "Usos de la inteligencia artificial para modelo de negocios energéticos en la transición hacia la sustentabilidad".

¹ Doctora en Educación. Profesora-investigadora en la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Energía y Movilidad (UPIEM), Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0924-041X>

² Doctor en Medio Ambiente. Profesor-investigador en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (Ticomán), Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9644-7645>

³ Maestra en Política y Gestión del Cambio Tecnológico. Profesora-investigadora en la Escuela Superior de Comercio y Administración (unidad Santo Tomás), Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0072-8208>

Introducción

La vinculación de la IA y la sustentabilidad se considera un importante avance científico y tecnológico que genera beneficios sociales al mejorar las condiciones de vida, salud, justicia, riqueza; aumentar la eficiencia y la eficacia de los procesos; mejorar la seguridad pública, así como controlar el impacto de la actividad humana, el clima y el medio ambiente; en otras palabras, la IA se encuentra presente en una amplia gama de investigaciones. Con la finalidad de prevenir y reducir las catástrofes meteorológicas por medio de alertas preventivas y coordinadas de forma adecuada a la situación emergente que se requiera la IA es parte de una revolución equiparable que ha estado generando día a día internet y como resultado su aplicación en múltiples sectores como la agricultura, el transporte, la educación, la salud, entre otros.

En este contexto la IA tiene una gran participación en la reducción de las emisiones de gas de efecto invernadero y de residuos. Por lo tanto, la sinergia de la IA y la sustentabilidad generan innovaciones que ofrecen rutas alternativas para enfrentar los efectos del cambio climático y la sustentabilidad para diseñar un futuro mucho mejor. Es decir, con la adopción de la IA se favorece la búsqueda de estrategias y mecanismos para la disminución del deterioro ambiental, la reducción y el mejoramiento de la eficiencia energética, así como la transición energética (TE).

Enfrentar el problema del cambio climático global y la escasez de fuentes fósiles requiere la reestructuración de la matriz energética tanto en la generación, como en la distribución y el consumo con un enfoque sustentable. La eficiencia energética, la transición y la seguridad energéticas son el marco para el diseño de modelos de negocios, así como para la reconfiguración de los mercados y el papel de las instituciones y de los actores del sector energético (Camarda, 2020; Hoppe *et al.*, 2020). La TE tiene como objetivo implementar cambios en los modelos de producción, distribución y consumo de la energía a partir de la sustitución de los combustibles fósiles con recursos renovables para evitar las emisiones de gases de efecto invernadero (Sayed-Mouchaweh, 2020).

La eficiencia energética es la palanca clave de la transición energética y

la descarbonización del sector industrial (González, 2021). La red eléctrica en la mayoría de los países está en proceso de transición bajo criterios como la confiabilidad y la eficiencia. Esto significa conducir la inversión en una red inteligente que proporcione un flujo bidireccional de energía y desarrollo de mecanismos de consumo que sean sostenibles a largo plazo, así como en uso de datos entre proveedores y consumidores (Butt *et al.*, 2021) que incluya una capa inteligente de análisis de volúmenes de datos que orienten la toma de decisiones, con la finalidad de maximizar la flexibilidad, la estabilidad, la eficiencia y la seguridad de la red.

Un problema central para el sector energético es la reducción de la intermitencia de las energías renovables derivada de su fuerte dependencia de las condiciones climáticas y el incremento de la tasa de participación en la red de electricidad, lo que aumenta la incertidumbre y la complejidad tanto en las transacciones como en el funcionamiento de la red. Esto afecta el equilibrio entre la oferta y la demanda. Ante esta situación, la TE es una tarea que articula las iniciativas de los gobiernos y sus diferentes niveles en el desarrollo de procesos de innovación como fuente de ventajas competitiva al integrar técnicas, herramientas, prácticas y servicios para reducir las pérdidas y los desperdicios de energía que se reflejan en la dinámica de los mercados energéticos.

Por lo tanto, a medida que crece la tasa de electrificación también se incrementa el consumo de energía y la participación en el mercado de las energías renovables, lo cual significa que el proceso de la TE requiere enfrentar múltiples retos como estabilizar la red con el uso de las energías renovables, aumentar la participación activa de los usuarios para optimizar su consumo energético y usar el máximo de energía renovable durante los periodos de máxima demanda o carga. Así, en el marco de las tendencias se abren nuevas oportunidades, pero al mismo tiempo se producen nuevos desafíos a los actores clave de la TE en un escenario que demanda nuevos modelos y herramientas de planeación y gestión que integren las aplicaciones de la inteligencia artificial y que pueden ser la clave para garantizar la sostenibilidad de los sistemas energéticos y de la operación de los negocios en todos los sectores industriales y, particularmente, en el sector energético.

La toma de decisiones, el modelado de los negocios y los enfoques de

predicción y optimización basados en IA ya se están utilizando de forma emergente con técnicas como el aprendizaje automático, los sistemas multiagente y las redes neuronales. El objetivo principal de este capítulo es proporcionar al lector una descripción del conjunto de aplicaciones de la IA en la transición hacia el uso de energía con sistemas más inclusivos y sostenibles.

Método de investigación

El diseño de este estudio se organizó en cuatro etapas para realizar la revisión de la literatura como fundamento de la respuesta a la pregunta de investigación: ¿cuáles son las aplicaciones de la inteligencia artificial en la transición energética? La revisión de dicha literatura inició con 1) la localización de los artículos, 2) la elección y evaluación de los artículos, 3) el análisis y síntesis, y 4) la presentación de los resultados.

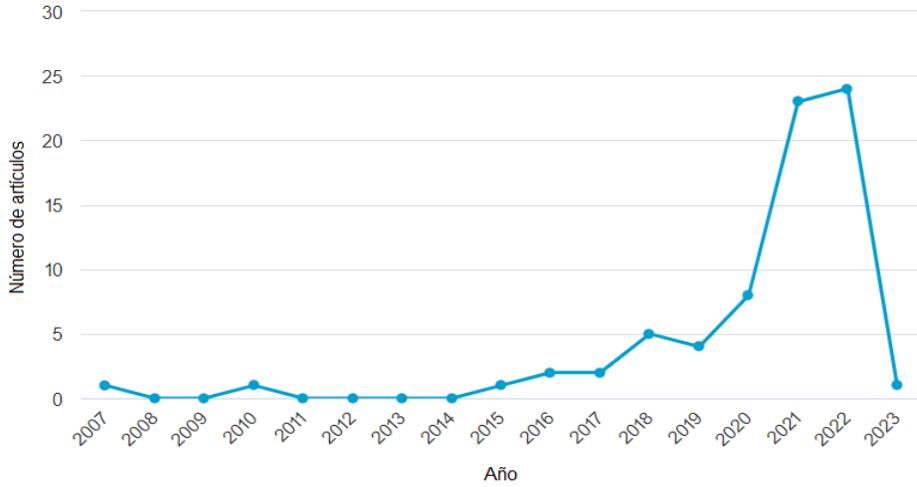
En la selección de los artículos se recurrió a la identificación de la evolución de las publicaciones, como se muestra en la figura 1; posteriormente se señalan los países que lideran la investigación en el campo de la IA aplicada en el sector energético (véase figura 2), entre los cuales destacan China y Alemania.

En la localización de los artículos se emplearon las cadenas de búsqueda que incluyen las palabras clave: inteligencia artificial, transición energética, eficiencia energética, redes energéticas, gobernanza. En la depuración de la base de datos de los artículos seleccionados se empleó el gestor de referencias Mendeley como herramienta para evitar artículos duplicados; después se clasificaron estos y con técnicas de análisis que se combinan cuantitativamente se obtuvieron los resultados de las aplicaciones de IA en el sector energético.

Para el análisis y la síntesis se utiliza la herramienta de mapeo y visualización *bibliometrix scopus*. El mapeo bibliográfico es un enfoque establecido para determinar publicaciones influyentes en el seno de un campo de investigación y proporciona una evaluación objetiva del desarrollo del conocimiento sobre un tema (Linnenluecke, 2017; Linnenluecke *et al.*, 2017).

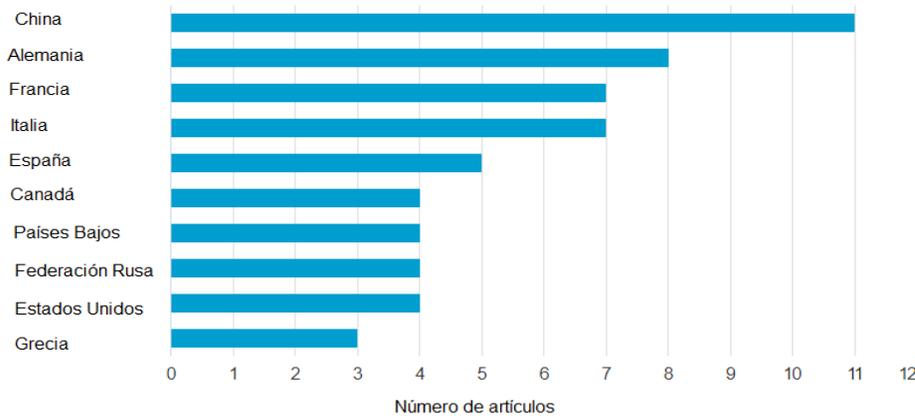
Esta revisión de la literatura surge en el contexto de la transición ener-

FIGURA 1. Artículos de IA en la transición energética



NOTA: Reporte de *bibliometrix scopus* con el uso de las palabras clave “inteligencia artificial” y “transición energética” en el periodo 2007-2022 (octubre).

FIGURA 2. Artículos por países (2007-2022)



NOTA: Reporte de *bibliometrix scopus* con el uso de las palabras clave “inteligencia artificial” y “transición energética” en el periodo 2007-2022 (octubre) por país.

FIGURA 3. Mapa de citas (2018-2022)



NOTA: Reporte de *bibliometrix scopus* con el uso de las palabras clave “inteligencia artificial” y “transición energética” en el periodo 2018-2022 (octubre) por país.

gética y exige un nuevo examen del vínculo con la sustentabilidad. Este documento presenta una revisión sistemática de los estudios más influyentes que abordan la IA en el sector energético publicados entre 2007 y 2022 y describe temas emergentes para futuras investigaciones.

La figura 3 presenta el mapa de citas de las 24 publicaciones más comunes del conjunto de datos final y muestra las citas cruzadas entre ellas. Cada artículo se muestra como un nodo, con líneas que representan el vínculo entre ellos. El mapa de citas ayuda a encontrar estudios relevantes sobre el tema bajo investigación que puede haber sido pasado por alto inadvertidamente durante la búsqueda inicial. El análisis de mapeo muestra que las investigaciones sobre IA y transición energética han examinado tres áreas de investigación clave: predicción, optimización y adopción.

El valor de las revisiones sistemáticas es que el estudio es replicable para que otro investigador pueda reproducir el proceso de revisión y llegar a las mismas conclusiones.

Análisis y discusión de resultados

En esta sección se analizan las aplicaciones de la IA hacia la TE desde las líneas de investigación a lo largo del tiempo en la literatura del sector energético. Se agrupan en mejoramiento de redes inteligentes, optimización de servicios confiables de suministro de energía y tendencias del análisis para el control en la transición energética.

A medida que crece la tasa de electrificación también se incrementa el consumo de energía. En este escenario el cambio de los usuarios de ser sólo consumidores a ser también productores, denominados *prosumidores*, conduce a aumentar significativamente la capacidad de la red. Los prosumidores generan energía en pequeña escala y están conectados a una red de energía más grande a nivel de distribución, mediante diferentes opciones, como los paneles solares fotovoltaicos, los generadores de combustible de gas natural, los vehículos eléctricos y las cargas controlables (Zhao y You, 2020).

Con el surgimiento de nuevos actores en el sector energético los requerimientos de información no sólo apoyan la concientización de los consumidores sino también el diseño de estrategias de colaboración inter e intrainstitucional de diferentes niveles de gobierno, gobiernos nacionales, socios internacionales y los prosumidores locales para impulsar una acción colectiva con el fin de alcanzar los objetivos de bajas emisiones de carbono y los beneficios asociados. En resumen, la transición energética se enfrenta a múltiples retos, como asegurar:

- la estabilidad de la red con el uso de energías renovables,
- la participación activa de los usuarios para optimizar su consumo energético,
- el uso máximo de energía renovable durante los periodos de máxima demanda o carga.

Con la utilización de la IA en el sector energético destacan las aplicaciones en la predicción y la optimización del consumo o la demanda de energía eléctrica, en la minimización de costos y en la reducción de picos

derivados de la operación de componentes o máquinas para lograr un equilibrio entre la demanda de energía y la producción de energía durante los periodos de más alta demanda; y la flexibilidad para garantizar el equilibrio entre la demanda así como la oferta (Marinakis, 2021; Mohamad *et al.*, 2020; Salem *et al.*, 2016; Lughofer y Sayed-Mouchaweh, 2019).

En un primer acercamiento, al parecer el uso de técnicas y herramientas de la IA no sólo apoyan la transición energética sino también solventan las necesidades de información de los actores de la gobernanza energética. Por ejemplo, en la fijación de precios para aproximadamente 12 000 municipios alemanes el uso del aprendizaje automático muestra un gran potencial para las comunidades energéticas. Por lo tanto, los mecanismos ofrecen buenos incentivos para agregar la flexibilidad necesaria para la estimación de la demanda (Bogensperger *et al.*, 2022).

El uso de técnicas de IA para realizar predicciones y optimizaciones en la transición energética enfrenta varios desafíos. La predicción del consumo de energías en función del tiempo juega un papel esencial para la optimización y el ahorro energético. La variabilidad introducida por la creciente participación de las energía eólica y solar dificulta significativamente la precisión de la predicción y los cambios en la demanda asociados al surgimiento de las tecnologías digitales de la 4RI.

En este sentido, el consumo de energía continúa aumentando a medida que crece la tasa de electrificación. La respuesta ante el aumento en el uso de recursos energéticos (Poulton *et al.*, 2010) es el cambio de usuarios, que dejan de ser sólo consumidores para convertirse en productores, conocidos como *prosumidores*, lo cual conduce a aumentar significativamente la capacidad de la red.

Los prosumidores pueden reducir los costos durante los periodos de máxima demanda utilizando la energía almacenada o eliminando (cambiando) las cargas diferibles para reducir el consumo según el precio o las señales de incentivos. El almacenamiento de energía a través de baterías distribuidas puede aumentar la resiliencia y la confiabilidad de la red gracias a su energía almacenada agregada que se puede usar durante las interrupciones o las horas de mayor demanda, a sabiendas de que la mayoría de las interrupciones son causadas por perturbaciones en el sistema de distribución (Sioshansi, 2019).

Por lo tanto, es indispensable desarrollar herramientas de gestión y control para garantizar la seguridad, la confiabilidad, la eficiencia y la estabilidad de los sistemas energéticos. En este sentido, las técnicas y las herramientas de inteligencia artificial apoyan la predicción (Mohamad *et al.*, 2019; Salem *et al.*, 2016), la optimización y la detección de fallas (tanto internas como externas (interacciones ambientales no esperadas) durante las operaciones de los sistemas energéticos y de las redes inteligentes con el propósito de agilizar las respuestas que aseguren su funcionamiento óptimo (Mocanu *et al.*, 2018).

Las aplicaciones de la IA a la gestión de la demanda en el contexto de la transición energética responden a los desafíos relacionados con la eficiencia energética mediante el pronóstico y el control automatizado (Zhang *et al.*, 2020). Otra aplicación para la optimización de energía distribuida es el sistema multiagente que se emplea en la gestión de energía en edificios que están equipados con una amplia gama de dispositivos que consumen y producen energía, como electrodomésticos en edificios residenciales. Los dispositivos que consumen energía consisten en cargas fijas y flexibles (desprendibles y desplazables), mientras que los generadores que producen energía son fuentes de energía locales restringibles.

Cada tipo de dispositivo está representado por un agente, una función objetivo que incorpora las restricciones del usuario y los incentivos de respuesta a la demanda. La optimización se realiza con el objetivo de medir la reducción en la factura de energía y la energía importada de la red para diferentes cantidades fijas de consumo (es decir, carga fija) que deben cumplirse y cantidades de consumo flexible (es decir, carga desplazable y carga eliminable) que pueden cambiarse o arrojarse hasta cierto punto durante un periodo de tiempo determinado.

El monitoreo de carga residencial no intrusivo tiene como objetivo reconocer los electrodomésticos individuales que están activos (consumiendo) de la carga total en la casa (el consumo total). Este reconocimiento se realiza sin necesidad de ningún sensor adicional sino únicamente registra el consumo total proporcionado por el contador inteligente. Con los resultados del monitoreo los consumidores toman decisiones y adoptan comportamientos consumo en función de su perfil o su actividad. El monitoreo se realiza con base en la adquisición de datos, en la extracción de

características e inferencias con el uso de los enfoques de aprendizaje automático (supervisado, no supervisado, semisupervisado) y las características utilizadas (estable, transitorio y contextual) para realizar el reconocimiento de estado activo del dispositivo.

Los enfoques de aprendizaje automático se utilizan para realizar el reconocimiento del estado activo de los aparatos. Se dividen en modelos basados en eventos probabilísticos. Los enfoques basados en modelos probabilísticos, en particular los modelos ocultos de Markov (Salem, 2020), se aproximan al tipo de aprendizaje y a los criterios utilizados (estable, transitorio y contextual).

Otro ejemplo para realizar el diagnóstico y el pronóstico de fallas se puede ubicar en los sistemas de turbinas eólicas con base en la dinámica de los aerogeneradores (los fenómenos de transformación de la energía eólica en energía mecánica y luego en energía eléctrica, los fenómenos de conservación y disipación de energía, etc.). Luego, este modelo se emplea para generar conjuntos de datos sobre fallas en componentes críticos para los cuales es difícil obtener suficientes indicios. En general, los resultados muestran cuatro fallas probadas: desequilibrio causado por una deformación del álabo, desequilibrio en el eje de alta velocidad, excentricidad del estator en el generador y fallas eléctricas en la resistencia del estator. El interés del pronóstico de fallas es doble: alertar a los operadores de supervisión acerca de la futura ocurrencia de una falla y darles el tiempo suficiente para planificar las acciones de mantenimiento.

La técnica del aprendizaje automático en la detección de la vulnerabilidad a los ciberataques en redes inteligentes proporciona una descripción general de los principales ataques a los diferentes componentes (generación, transmisión, distribución, comunicación, consumo) de una red inteligente, en tres categorías: ataques a la confidencialidad (obtener acceso a datos que pertenecen a otros), ataques a la integridad (alguien que no sea el dispositivo legítimo afirma fraudulentamente ser ese componente) y ataques a la disponibilidad (generar mucho tráfico para abrumar la capacidad de los dispositivos de destino para prestar los servicios).

Las redes neurales como una técnica de la IA apoyan la realización del diagnóstico de fallas de los sistemas de conversión y tienen amplias aplicaciones, como bombas de energía fotovoltaica o unidades de desalinización.

Estas fallas pueden afectar tanto a su parte mecánica como a su parte eléctrica. Una vez detectadas las fallas se procede al aislamiento para indagar el componente que presenta la disfuncionalidad.

La aplicación de las redes neuronales artificiales sirve para la predicción de los flujos de energía en las redes eléctricas. El interés de utilizar las redes neuronales radica en la estimación de las cargas de línea y de las magnitudes de los voltajes de barra en redes de distribución con un alto porcentaje de recursos de energía distribuida. La precisión de la estimación de los flujos de potencia es esencial para identificar de forma rápida y fiable las situaciones críticas de carga y las pérdidas de energía, en particular en las redes de baja tensión. El objetivo es mejorar la monitorización en tiempo real de los sistemas eléctricos, en particular a nivel de baja y media tensión, para la planificación y la operación de la red.

Conclusiones

La revisión sistemática de los artículos más influyentes en la investigación sobre la IA y la transición energética se ha desarrollado en tres áreas de investigación: mejoramiento de redes inteligentes, optimización de servicio doméstico tendencias del análisis en la transición energética.

Los enfoques de aprendizaje automático se utilizan para realizar el reconocimiento del estado activo de los aparatos. Los divide en modelos basados en eventos y probabilísticos. Los enfoques basados en modelos probabilísticos, en particular los modelos ocultos, se aproximan al tipo de aprendizaje y a los criterios utilizados (estable, transitorio y contextual).

La finalidad de la optimización es establecer el flujo de energía óptimo que tenga en cuenta los incentivos para los esquemas de respuesta a la demanda y los precios de la electricidad con base en las restricciones del usuario. La ventaja de la optimización es doble: considera la respuesta a la demanda basada en los precios y la respuesta a la demanda basada en incentivos junto con las limitantes de los consumidores, preservando su privacidad, ya que cada usuario realiza su optimización con un análisis personalizado.

La agenda de investigación asociada a las aplicaciones de la IA en la TE

se organizan en cinco áreas de investigación emergentes: el papel protagónico de los prosumidores en el sector energético, la regulación, las innovaciones, la optimización y el control de las operaciones de los sistemas energéticos.

El paradigma de la sustentabilidad reconoce que existen contextos nacionales e internacionales con diferentes grados de desarrollo; por lo tanto los beneficios que ofrece la IA son parte fundamental para poder avanzar hacia la sustentabilidad en América Latina.

Referencias

- Bogensperger, A. J., Fabel, Y., y Ferstl, J. (2022). Accelerating energy-economic simulation models via machine learning-based emulation and time series aggregation. *Energies*, 15 (3), 1239.
- Butt, O. M., Zulqarnain, M., y Butt, T. M. (2021). Recent advancement in smart grid technology: future prospects in the electrical power network. *Ain Shams Engineering Journal*, 12 (1), 687-695.
- Camarda, M. F. (2020). La gobernanza de la eficiencia energética: una política pública efectiva para fortalecer la transición energética hacia modelos de desarrollo económico sustentable. *Administración Pública y Sociedad* (9), 153-180.
- Flores, R. (2012). Incorporando desarrollo sustentable y gobernanza a la gestión y planificación de áreas verdes urbanas. *Frontera Norte*, 24 (48), en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73722012000200007.
- Gómez, J. F. (2021). Eficiencia energética en el sector industrial. *Cuadernos Orquesta* (Instituto Vasco de Competitividad).
- Hoppe, T., y Miedema, M. (2020). A governance approach to regional energy transition: meaning, conceptualization and practice. *Sustainability*, 12 (3), 915.
- Linnenluecke, M. K., Marrone, M., y Singh, A. K. (2020). Conducting systematic literature reviews and bibliometric analyses. *Australian Journal of Management*, 45 (2), 175-194.
- Lughofer, E., y Sayed-Mouchaweh, M. (eds.) (2019) *Predictive maintenance in dynamic systems: advanced methods, decision support tools and real-world applications*. Springer.
- Marinakos, V., Koutsellis, T., Nikas, A., y Doukas, H. (2021). AI and data democratisation for intelligent energy management. *Energies*, 14 (14), 4341.

- Mocanu, E., Mocanu, D. C., Nguyen, P. H., Liotta, A., Webber, M. E., Gibescu, M., y Slootweg, J. G. (2018). On-line building energy optimization using deep reinforcement learning. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(4), 3698-3708.
- Mohamad, S., Sayed-Mouchaweh, M. y Bouchachia, A. (2020). Online active learning for human activity recognition from sensory data streams. *Neurocomputing*, 390, 341-358.
- Poulton, G., y James, G. (2010). Coordination of distributed energy resource agents. *Applied Artificial Intelligence*, 24 (5), 351-380.
- Salem, H., Sayed-Mouchaweh, M., y Tagina, M. (2020). A review on non-intrusive load monitoring approaches based on machine learning. En M. Sayed-Mouchaweh (ed.), *Artificial intelligence techniques for a scalable energy transition* (pp. 109-131). Springer Cham.
- Sayed-Mouchaweh, M. (ed.) (2020). *Artificial intelligence techniques for a scalable energy transition: advanced methods, digital technologies, decision support tools, and applications*. Springer Nature.
- Sioshansi, F. (ed.) (2019). *Consumer, prosumer, prosumager: how service innovations will disrupt the utility business model*. Academic Press.
- Zhang, X., Biagioni, D., Cai, M., Graf, P., y Rahman, S. (2020). An edge-cloud integrated solution for buildings demand response using reinforcement learning. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 12 (1), 420-431.
- Zhao, N., y You, F. (2020). Can renewable generation, energy storage and energy efficient technologies enable carbon neutral energy transition? *Applied Energy*, 279, 115889.

V. La sustentabilidad en las petroleras internacionales vs. Pemex*

DANIEL ROMO RICO¹

Resumen

El mundo enfrenta crecientes presiones para abatir la contaminación ambiental, la afectación a la naturaleza y sus efectos sobre la salud humana. Derivado de lo anterior, se han emprendido acciones de política pública orientadas a alentar la transición energética, el empleo de fuentes renovables y el incremento del ahorro y la conservación de la energía. Las visiones prospectivas han planteado el desplazamiento en el uso del petróleo y del carbón como combustibles. Las empresas petroleras han realizado acciones para acoplarse en distinto grado apoyando las políticas públicas, lo que ha presionado para ajustar sus modelos de negocio. Este capítulo analiza el desempeño reciente de algunas compañías petroleras internacionales en materia de sustentabilidad para afrontar el entorno esperado. En primera instancia, se analiza la perspectiva energética global, para continuar con el tema de la responsabilidad corporativa y las políticas públicas. Paso seguido, se estudian los avances individuales de las empresas seleccionadas. Se concluye que las petroleras continuarán centrando su crecimiento en los negocios tradicionales y atenderán de manera marginal, pero creciente, los temas asociados con la sustentabilidad ambiental.

* Capítulo derivado del Proyecto de Investigación SIP 20220465: "Estudios sobre el sector energético y sus perspectivas" del Instituto Politécnico Nacional.

¹ Doctor en Ingeniería con especialidad en Economía de la Energía. Profesor-investigador de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (Ticomán), Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4672-7988>

Palabras clave: *energía, petróleo, empresas petroleras, transición energética, sustentabilidad.*

El desarrollo de la humanidad conlleva la necesidad de la utilización de la energía. Las actividades realizadas para su acceso son múltiples, de amplio espectro y originan fenómenos como la contaminación ambiental y el deterioro de la naturaleza. La consecución de acciones para limitar esos fenómenos es una demanda creciente a nivel global, lo que ha llevado al emprendimiento de iniciativas nacionales e internacionales.

Una de las fuentes de contaminación es la industria petrolera, tanto directa como indirectamente. En el primer caso, en el proceso de desarrollo de sus operaciones en toda su cadena de valor se emiten gases de efecto invernadero (GEI) y en ocasiones la contaminación de suelos y agua, así como la afectación de los paisajes y la vegetación en los tendidos de la infraestructura. En el segundo caso, se pueden caracterizar dos tipos. Uno como consecuencia de los efectos del consumo de energía de los proveedores y el otro a través de los derivados de los hidrocarburos que ofrecen las compañías en el mercado, principalmente en el transporte y la electricidad. Se estima que las empresas del sector energético son fuentes de dichas emisiones con dos terceras partes del global industrial (Grasso, 2019).

La discusión sobre las acciones para reducir las emisiones de GEI y atender la preservación de la naturaleza se ha abordado en algunos trabajos en los que se ilustran estrategias utilizadas por las grandes petroleras sin profundizar en su situación financiera (Kenner y Heede, 2021) o centrándose en la evaluación de la información publicada (Li, Trencher y Asuka, 2022), así como en señalar su actuación en función de los niveles de acción (Coffin, 2020). También existen trabajos que señalan las acciones de dichas compañías en contra del tema ambiental (Influence Map, 2019). En los últimos dos años algunas petroleras han iniciado un discurso más agresivo en estos temas, que está enmarcado por los cambios en los mercados energéticos asociados a la invasión de Rusia a Ucrania.

El análisis de las acciones adoptadas en materia de sustentabilidad ambiental en un conjunto de empresas representativas del sector —Exxon-Mobil, Chevron, Shell, BP, Petrobras—, en el escenario de tensiones

geopolíticas, y su comparación respecto de la posición de Petróleos Mexicanos (Pemex) es el objetivo central de este capítulo. Así, se analiza la relevancia de las empresas petroleras en la atención del tema ambiental y las condiciones generales que las llevan a adoptar medidas de responsabilidad social. Paso seguido, se realiza un diagnóstico de cada compañía y se identifican sus avances y sus restricciones, con especial atención en su discurso planeado hacia los próximos años. En otro apartado se lleva a cabo un análisis global de los resultados observados y de los retos del entorno, para concluir con las reflexiones finales.

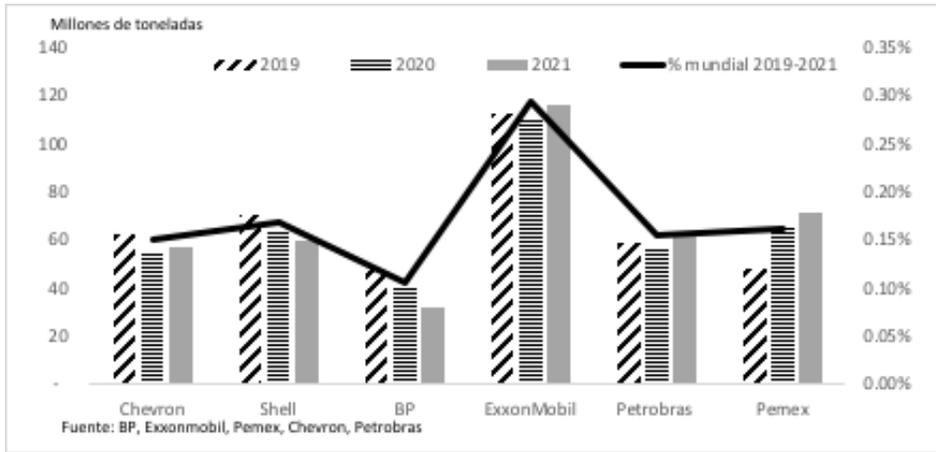
Hacia la consecución de la sustentabilidad por las empresas petroleras

Agencias y empresas globales han emitido pronósticos sobre el comportamiento del sector energético. La mayoría coincide en su crecimiento, pero con énfasis en las naciones menos industrializadas, debido a una mejora de sus ingresos per cápita, como al tamaño de su población y el acceso a sus recursos naturales disponibles. Aunque establecen que la penetración del petróleo en el mix energético podría disminuir, plantean que la velocidad de su desplazamiento se producirá en función del perfil de las políticas públicas instrumentadas (BP, 2021; IEA, 2020; EIA, 2021).

Impulsar la eficiencia y el ahorro energético es parte de los cambios esperados en aras de mitigar el cambio climático, de acuerdo con los lineamientos de los Objetivos del Desarrollo Sustentable promovidos por Naciones Unidas. Una línea concreta se trazó mediante el Acuerdo de París, consistente en ubicar el calentamiento global por debajo de los 2 °C y enfocar los esfuerzos para limitarlo a 1.5 °C, respecto de los niveles preindustriales. También el desplazamiento de los derivados del petróleo —gasolina, diésel y turbosina— por los motores de electricidad en el sector transporte es uno de los argumentos que soportan algunos escenarios. Otra tendencia es el incremento en el uso de la electricidad, impulsada por fuentes renovables y por los combustibles limpios, donde se incluye el gas natural.

Las compañías petroleras son de las principales fuentes de emisión de

FIGURA 1. Emisiones directas de GEI de petroleras seleccionadas



GEI y las consideradas en este estudio contribuyen con alrededor de 1% de las emisiones totales, donde destacan los niveles de Exxon-Mobil, Shell, Pemex y Petrobras (figura 1).

Para apoyar las acciones de las compañías en la consecución del tema ambiental se formalizaron tres niveles de acción. Los de alcance 1, relacionados con las emisiones de GEI que se controlan o son propiedad de una organización (por ejemplo, las originadas en sus calderas y en sus vehículos). Las de alcance 2, coligados con sus adquisiciones de electricidad, vapor, calor o enfriamiento, y las de alcance 3, correspondientes al consumo de los combustibles elaborados por las empresas (EPA, 2022).

En este contexto, las compañías petroleras desarrollan sus operaciones sustantivas, a la vez que buscan transitar hacia temas de responsabilidad social o de transición energética, minimizando las externalidades negativas y tratando de robustecer su credibilidad (McWilliam y Siegel, 2001), al tiempo que se adaptan a los cambios regulatorios e incorporan modelos de gestión del riesgo (Management Solutions, 2020).

Se han identificado cuatro tipos de estudios que abordan las razones por las que las petroleras privadas pueden virar hacia el negocio de las fuentes renovables: el éxito relativo de invertir en modelos emergentes; el cumplimiento de las políticas públicas, como la seguridad energética; la exploración del potencial de negocio de las inversiones en renovables, que

no pueden ser ignoradas por las petroleras; y la adaptación de sus modelos de negocio a los cambios del entorno (Fattouch y Poundineh, 2019). Sin embargo, eso implica crear infraestructura adicional —con los costos hundidos correspondientes—, desplazar la infraestructura operativa existente, adaptarse a la velocidad de cambio tecnológico y/o recibir el impacto financiero de los costos de financiamiento (Shojaeddini *et al.*, 2019). A continuación se describen casos típicos de desempeño de petroleras y el caso de Petróleos Mexicanos (Pemex).

Exxon. Es una empresa multinacional privada estadounidense, la quinta más grande a nivel internacional y con presencia en 58 naciones. Además de ser uno de los pilares de la Standard Oil, ha crecido gracias a la adquisición y a la fusión de varias petroleras, como Mobil y Esso, entre otras. Su modelo de negocios se ubica a lo largo de toda la cadena de valor de la industria petrolera. No obstante, se concentra en el negocio del Downstream que incluye química y que agrupa alrededor de 80% de sus ingresos totales, pero ha instrumentado una estrategia de desinversión en 22 sitios de refinerías desde 2000 hasta 2021, lo cual ha compensado con inversiones en optimización y reducción de costos operativos y de transporte. Mantiene una sólida presencia en la venta de derivados a través de sus estaciones de servicio, cuenta con una capacidad de destilación atmosférica de cerca de cinco millones de barriles diarios e intereses en 21 refinerías, de las cuales 80% está asociada con operaciones químicas y/o lubricantes, y avanza en el negocio de la comercialización del gas natural licuado (GNL), particularmente a partir de su presencia en Qatar e Indonesia.

Explota marcas de prestigio como Exxon, Esso, Mobil, xto Energy y Synergy. Ha acumulado experiencia en la explotación de hidrocarburos, equivalentes a 0.5% a nivel global. Es especialista en operaciones en aguas profundas y en explotación de campos de lutitas y bitumen. Cuenta con liderazgo en el negocio de la química, que incluye una gama de productos petroquímicos, lubricantes sintéticos, entre otros. Mantiene una estrategia de negocio apoyada en asociaciones con otras petroleras.

Ha mantenido una base financiera sólida con buen nivel de capitalización y bajo apalancamiento —*versus* relación a la industria petrolera—,

pero ha detenido sus niveles de inversión desde la segunda mitad de la década pasada en relación con el primer quinquenio.

Ha estado sujeta al escrutinio por sus políticas medioambientalistas. En la década de 1980 fue líder en la negociación del cambio climático y en los años siguientes financió propaganda para influir en contra del Protocolo de Kioto. Aunque en 2014 reconoció la necesidad de atender el tema, ha preservado sus estrategias de financiamiento de políticos y de grupos contrarios. De hecho, en 2021 se le suspendió su membresía en el Consejo de Liderazgo Climático como represalia por sus operaciones de cabildero que tenían como objetivo detener el cambio climático (Zycher, 2021).

Ha enfrentado un historial de percances relevantes, como los derrames Exxon Valdez (1989), en el Río Amarillo (2011), en la refinería Baton Rouge (2012) y en Mayflower (2013), entre otros. Aunque los accidentes originados y algunas de sus prácticas operativas han creado una imagen complicada en el tema de responsabilidad social, la compañía ha implementado políticas para fortalecerse en esos temas. Cuenta con programas de manejo del agua, de residuos de plásticos de apoyo a la biodiversidad y de promoción de la seguridad y la salud laboral. Está integrando tecnología de bajas emisiones para tratar de compensar las emisiones de sus nuevas instalaciones, donde destaca el cambio de combustible a proyectos de captura y almacenamiento de hidrógeno y carbono en Houston, Rotterdam, Fife y Amberes; convenios de compra de energía renovable —por ejemplo, con su asociación con Global Clean Energy— y el impulso de proyectos de eficiencia energética. Cumple con los criterios del Global Reporting Initiative (GRI Standards), del DJSI (Dow Jones Sustainability Index), del CDP (Carbon Disclosure Project) y del TCFD (Taskforce for Climate-Related Financial Disclosures)

Ha incursionado en el tema de las tecnologías de energía limpia a través de sus negocios en biocombustibles, entre las que destacan la biorrefinería Bakersfield, desperdicios agrícolas y la captura y el monitoreo de gases de efecto invernadero, en particular de bióxido de carbono. En este último caso, se ha ubicado como una compañía con avances en materia de secuestro, así como en los procesos de eliminación de impurezas del gas natural con la tecnología Freeze Zone. Exxon-Mobil tiene intereses en

aproximadamente 5.4 gigavatios de capacidad de generación de energía en más de 100 instalaciones (Exxon-Mobil, 2022a).

Ha destinado recursos a la IDT a través de acuerdos con 80 universidades y con institutos de investigación que le han permitido acumular cerca de 9 000 patentes a nivel global a finales de 2020 y obtener 130 millones de dólares por regalías. Una iniciativa relevante es la realizada con el Instituto de Tecnología de Georgia y el Imperial College de Londres en tecnologías de membrana, que busca demostrar el potencial del fraccionamiento no térmico del petróleo crudo ligero, lo que podría reducir drásticamente las emisiones del proceso de refinación. También investiga sobre el uso del hidrógeno; la generación de poder y nuevos materiales; la promoción de la eficiencia y la utilización de combustibles limpios; sobre el clima; la exploración de petróleo y gas natural con el uso de tecnología sísmica para analizar la física de las rocas y las estructuras geológicas, así como sobre tecnologías de perforación y terminación en el Ártico y campos no convencionales.

Como parte de sus estrategias para avanzar en el tema medioambiental, la empresa anunció en 2022 su intención de lograr hacia 2050 cero emisiones netas de GEI para los activos de alcance 1 y alcance 2. Planteó un hito de reducción de emisiones para 2030 y en su estrategia aplica la implementación de mapas de ruta para sus principales activos, medidas de eficiencia energética, captura y almacenamiento de carbono, cogeneración y electrificación con fuentes renovables y uso de hidrógeno y de biocombustibles. Para ello ha planteado invertir más de 15 000 millones de dólares a 2027 (ExxonMobil, 2022b).

Shell (antes Royal Dutch Shell). Es una petrolera privada multinacional angloholandesa fundada a inicios del siglo pasado (1907) y una de las cinco principales energéticas a nivel global. Opera en más de 70 países, con 46 000 estaciones de servicio, 12 400 tiendas de conveniencia y 82 000 empleados. Está verticalmente integrada a lo largo de la cadena de valor de la industria petrolera y opera actividades de la petroquímica y de la generación de potencia. Tiene intereses en 23 refinerías y presencia en el transporte y la comercialización de hidrocarburos a nivel global, particularmente en el negocio del gas natural —licuefacción, deslicuefacción, transporte

marítimo, almacenamiento y distribución—. La preponderancia de sus operaciones está en el mercado de los productos derivados del petróleo, pero es líder en la explotación de aguas profundas, extracción de bitumen, manufactura de crudo sintético, así como en la venta al público de combustibles derivados de su red de estaciones de servicio. Durante 2021 sus ingresos procedieron de la venta de derivados del petróleo, (70%), de operaciones con gas natural (20%), de explotación de hidrocarburos (3.5%) y el resto fundamentalmente del negocio de los químicos.

A pesar de reportar pérdidas en 2020 y afectaciones en sus flujos de efectivo, generalmente reporta utilidades, lo que le ha permitido mantener niveles de liquidez adecuada y apalancamiento competitivo (*versus* la industria petrolera). Al igual que Exxon-Mobil, sus inversiones de capital se han reducido en comparación con inicios de la década pasada.

Mantiene robusta presencia en Asia Pacífico, Estados Unidos y Latinoamérica, así como en Europa, tanto de manera individual como a través de asociaciones con petroleras como Petronas, Conoco Phillips y Murphy Oil. Una de sus estrategias de crecimiento ha sido realizar asociaciones con compañías de la industria petrolera a través de adquisición de empresas y *joint ventures*, e incluso ha impulsado la inversión en *start-ups* en energía e innovación, a través de las cuales amplía su espectro de acciones en fuentes renovables.

Tiene presencia en el uso de energía solar y en la carga de los autos eléctricos —cuenta con alrededor de 90 000 puntos de carga al tiempo que apoya flotas comerciales—. En energía eólica mantiene una empresa conjunta con Vattenfall en el proyecto NoordzeeWind. Destacan los proyectos de suministro de renovables a Microsoft y la obtención de biocombustibles a partir de la caña de azúcar y aceite de palma. El primero, a través de la empresa conjunta Raizen en Brasil y el segundo en Tailandia. Está sujeta a los lineamientos de GRI Standards, DJSI, CDP y TCFD.

Destina alrededor de mil millones de dólares a IDT en distintas sedes a nivel global en temas operativos petroleros, de atención al cambio climático, estudios de biocombustibles avanzados a partir de plantas no comestibles y desechos de cosechas, eficiencia en el consumo de los derivados del petróleo, así como en la automatización y el uso de tecnologías digitales. Un desarrollo destacado es la digitalización de subsuelo y pozos que per-

mite nuevas técnicas de visualización y exploración y la aceleración del análisis de prospectos y el aumento en los éxitos de exploración de hidrocarburos.

Mantiene proyectos enfocados a preservar la naturaleza. En 2021 inició uno de apoyo a la biodiversidad, que incluye acciones para conservar y recuperar los ecosistemas; otros ligados a la gestión del agua, a la economía circular en materia de desperdicios y manejo de plásticos, así como a medidas para mejorar la calidad del aire.

Entre sus proyectos más relevantes se ubican la producción de una fuente de luz segura e ilimitada para las personas que viven fuera de la red de energía con la empresa Gravity Light; con Capture Mobility, la creación de una turbina eólica que cosecha energía a partir del tráfico en carreteras; con Pavegen, la conversión de losetas que generan electricidad al caminar; con Bio-bean, el reciclaje de desechos de café en productos de biomasa de carbono neutro y en proyectos de secuestro y almacenamiento de dióxido de carbono a gran profundidad en Australia y en Canadá. En materia de hidrógeno limpio, promueve su empleo con fines no contaminantes en el transporte y como materia prima para productos químicos. En 2021 abrieron Refhyne, el electrolizador más grande de su tipo en Europa, en su Parque de Energía y Productos Químicos de Rheinland.

Las políticas energéticas en la Unión Europea, de apoyo al uso de fuentes renovables, han obligado a la compañía a migrar más activamente hacia ese negocio. Apenas en 2021 Shell anunció su intención de disminuir las emisiones absolutas de sus operaciones y el uso de energía para 2030 a la mitad —de los niveles registrados en 2016—. Hacia 2050 planea reducir la intensidad de carbón de los productos energéticos vendidos y la disminución de las emisiones netas igual a cero. Su estrategia planea acciones para impulsar la reducción de las emisiones, mejoras en la infraestructura y la optimización de las condiciones para invertir en opciones de bajo carbono (Shell, 2021).

Chevron. Es una petrolera estadounidense, la séptima más importante del mundo. Data de 1879, de la Pacific Coast Oil Co., y fue producto de parte de la escisión de la Standard Oil Co. Su modelo de negocio se centra en la exploración y la producción (E&P) de petróleo y gas natural, en la refina-

ción, transporte, almacenamiento y distribución, así como en productos químicos y generación de poder. Además de su crecimiento orgánico, fue fortaleciéndose con la adquisición de otras empresas, como Texaco, Unocal y Atlas Energy Inc., entre otras.

Tiene presencia prácticamente en todos los continentes, pero concentra sus operaciones en Estados Unidos con cerca de una tercera parte de sus activos totales. Mantiene notable presencia en materia de tratamiento, transporte, almacenamiento y distribución de hidrocarburos, de donde obtuvo más de 70% del total de sus ingresos en 2021.

Mantiene un bajo apalancamiento en la industria, adecuada liquidez, pero ha enfrentado retos para elevar su rentabilidad sobre capital que sólo ha promediado cerca de 5% entre 2017-2021. Lo anterior ha incidido en menores flujos canalizados a gastos de inversión. A pesar de los crecientes retos operativos, ha logrado mantener su nivel de reservas probadas en los últimos años, mismas que en 2021 finalizaron en 11 200 millones de barriles de petróleo crudo equivalente. Se encuentra en más de la mitad de Estados Unidos. Es una petrolera que ha elevado su producción de crudo a través de los años, pero más de gas natural. Como contraparte, ha reducido su presencia en refinación, pero es de donde obtiene alrededor de 70% de sus ingresos totales.

Posee notable presencia en actividades de aguas profundas, particularmente en el Golfo de México, en la extracción en campos no convencionales, en la recuperación de los campos existentes, en el manejo y el transporte del GNL, así como en la modelación y la automatización.

Chevron contribuyó con alrededor de 0.15% de las emisiones GEI en 2020. Apenas en los años recientes ha atendido el tema del medio ambiente, como parte de su modelo de negocio. Hacia 2021 destaca el inicio de proyectos en Argentina, el Golfo de México y las cuencas de Denver-Julesburg y Permian USA, así como en la empresa conjunta que opera en Kazajistán. Lo anterior contempla la disminución de emisiones de metano, la captura de carbón y la reducción de derrames. El costo de las emisiones al carbón fue incorporado en la planeación de la empresa.

Es una de las petroleras con mayor incursión en generación de electricidad a través del uso de la geotermia —Indonesia y Filipinas—. Ha estado incorporando la tecnología gas a líquidos, que permite la producción de

combustible limpio —diésel, gas licuado de petróleo y nafta—; instrumentado acciones para reducir los desperdicios; mejorado el manejo del agua, la conservación de la energía y la eficiencia de sus activos. Su incursión en la energía solar es incipiente y tiene un proyecto de bioenergía en asociación con Schlumberger New Energy, Microsoft y Clean Energy Systems, en donde también planea el secuestro de carbono a través de residuos agrícolas.

Durante 2022 adquirió intereses en compañías de estaciones de servicio de hidrógeno, en biorrefinerías, así como de recarga de autos eléctricos. Está sujeta a los lineamientos de DJSI, CDP y TCFD, pero no a los de GRI Standards. Ha introducido el tema de análisis de riesgo en materia ambiental a lo largo del ciclo de vida e involucrado en iniciativas globales para la protección de áreas en materia de biodiversidad, así como su administración y sus caracterización en ciertas regiones. Evitó abordar el tema ambiental en años anteriores, para lo cual usaba prácticas de *lobbying* y apoyo a políticos de Estados Unidos. En 2020 canalizó alrededor de 8.6 millones de dólares para ese fin (Hicks y Holzberg, 2021).

En 2021 asumió compromisos para alcanzar cero emisiones netas en las actividades de E&P hacia 2050 y reducirlas en sus operaciones directas (Scope 1) y en las derivadas de sus consumos de energéticos (Scope 2) (Chevron, 2022). La compañía espera invertir más de 10 000 millones de dólares hasta 2028 en temas medioambientales, pero incluye inversiones en el negocio del gas natural (Chevron, 2021).

BP. Es una empresa de base británica fundada en 1908 en Irán, que en 2021 operó en 65 países y es una de las cuatro más grandes a nivel global. Su modelo de negocio se basa en las actividades fundamentales de la industria petrolera: exploración, explotación, refinación, transporte y distribución de hidrocarburos, así como en la generación de electricidad y su comercialización.

A través de los años ha adquirido petroleras y empresas de energía, entre las que destacan Arco, Amoco, Castrol y Aral, y ha establecido una empresa conjunta en Rusia denominada TNK-BP.

Ha enfrentado distintos incidentes operativos y ambientales. Uno de los más importantes fue el derrame en la plataforma horizontal Deepwater

en 2010, que significó el pago de multas, compensaciones y desinversiones productivas. Este suceso la afectó financieramente, pues sus márgenes netos disminuyeron su apalancamiento y se presionó al alza (*versus* Oil Majors), al tiempo que influyó en menores niveles de inversión. Fue una de las grandes petroleras que más impacto registró derivado de la pandemia en 2020.

En materia de energía solar realiza operaciones propias y en asociación con terceros. En 2017 adquirió la compañía Clean Energy's biometane, enfocada al negocio de biometano. En asociación con Lightsource, BP está explorando opciones de tecnología que incluyen el uso de paneles bifaciales; granjas solares flotantes e inversores inteligentes. En energía eólica cuenta con proyectos en Reino Unido, Estados Unidos y Alemania. Destaca su asociación con Equinor, en un proyecto de granjas eólicas marinas en Massachusetts, que involucra inversiones de 200 a 250 millones de dólares. En contraste, realizó desinversiones en un proyecto de energía eólica en Texas, Estados Unidos (NS Energy, 2018).

Ha incursionado en el negocio de los biocombustibles a través de *joint ventures*, como las que tiene en Brasil y priorizado el negocio de GNL, particularmente en su comercialización y negociación —proyectos en Indonesia, oeste de Europa y Azerbaiyán—.

Una de las áreas de mayor impulso la realiza en el suministro de electricidad en Europa, Norteamérica y Brasil. Destaca su asociación con la empresa alemana EnBW Energie Baden-Württemberg AG que además ofrece servicios de suministro de agua y gas a partir del uso de energía eólica costa fuera y costa adentro. Desde 2018 opera el negocio de carga de vehículos mediante la adquisición de Chargemaster, la red más grande de Reino Unido. En 2019 formó una empresa conjunta en China con Dixi Chixing. Al cierre de 2021 contaba con 13 100 puntos de carga.

Ha incursionado en las actividades de captura y almacenamiento de carbón y en proyectos relativos al hidrógeno, entre los que destaca el uso del denominado hidrógeno verde utilizado en la refinería germana de Lingen. Adquirió una compañía estadounidense dedicada a compensar las emisiones de carbón forestal (2020).

BP cuenta con acciones para la mejora de eficiencia energética en sus procesos de producción y para reducir su consumo de energía, así como

con la oferta de combustibles derivados limpios (carburantes con la tecnología ACTIVE). Ha incursionado en prácticas para el mejor manejo y tratamiento del agua, sobre todo mejorando su calidad y disminuyendo los flujos de líquidos residuales. El área de materiales (corrosión e incrustaciones) es atendido mediante su utilización en refinación y en el transporte de hidrocarburos, apoyado por investigaciones en el Centro Internacional de Materiales Avanzados BP (BP-ICAM) y por The University of Manchester, la Universidad de Cambridge y el Imperial College de Londres.

El año base de referencia para la disminución de sus emisiones la fijó en 2019. Hacia 2021 ha logrado reducir 16% las emisiones netas e invertido alrededor de 2 200 millones de dólares en temas de sustentabilidad ambiental, pero prácticamente no ha logrado avances en la disminución de metano, ni en la de los productos energéticos comercializados. BP está sujeta a los lineamientos de GRI Standards, DJSI, CDP y TCFD.

Planea alcanzar en 2050 el objetivo de emisiones netas cero, para lo cual pretende ampliar sus negocios de electricidad y energía con bajas emisiones de carbono, mediante el impulso de las fuentes renovables y biorrefinerías, biogás y el empleo del hidrógeno y la captura de carbono; pretende transformar su oferta de movilidad y conveniencia de servicios y hacer más resiliente su cartera de petróleo, gas y refinación con eficiencia operativa. Las inversiones planeadas ligadas a la transición podrían alcanzar 40% del Capex en 2025 (BP, 2022). Lo anterior estará acompañado por la integración de sus sistemas de energía en su cadena de valor; ampliará sus vínculos con la sociedad e innovará con enfoque en el tema digital para crear eficiencia, apoyar sus negocios y satisfacer a sus clientes (Lonney, 2022).

Petrobras. Es una compañía multinacional brasileña de capital mixto que data de los años cincuenta del siglo pasado y es la número veinte por ingresos a nivel global. Opera en toda la cadena de valor con preponderancia en E&P de petróleo en aguas profundas y campos convencionales. Mantiene presencia en la elaboración de refinados; sin embargo, inició un proceso de desinversión en 2019, aún en proceso de conclusión. También opera el negocio del gas natural, su transporte y su comercialización, el de fertilizantes, y ha incursionado en el mercado de la electricidad, generada

en su mayoría por centrales hidroeléctricas, con algunas termoeléctricas y pocas plantas eólicas. Es una de las grandes petroleras con notable presencia en biocombustibles con base en la caña de azúcar.

Su estrategia de negocio se apoya en siete compañías subsidiarias y tiene el respaldo tecnológico del CENPES, uno de los principales centros de investigación petrolera de América Latina. Tiene presencia en 16 naciones y un notable liderazgo en América del Sur en productos refinados y gas natural, especialmente con su infraestructura de transporte y sus estaciones de servicio.

Su proceder se ha influenciado por grupos de interés políticos y económicos, que han propiciado prácticas de corrupción y malos manejos. En particular, ha sido expuesta a los cambios en las directrices de los gobiernos en turno. Una visión hacia el libre mercado (Bolsonaro) y otra asociada a una visión más nacionalista (Lula da Silva).

Los ingresos totales se concentraron en *upstream* y *midstream* (90% en 2021). De estos, 27% procedió del exterior. Aunque se ha enfocado hacia el impulso de la eficiencia, enfrenta retos para seguir abatiendo sus costos de producción en aguas profundas, optimizar sus cadenas de distribución y neutralizar los efectos de las etapas de precios bajos del petróleo. El peso de su deuda, la carga de su costo financiero, así como de las prácticas de corrupción e influencia de grupos de interés político, han minado la rentabilidad de la compañía.

El incremento de su producción de petróleo se ha sustentado en el abatimiento de sus reservas, que han caído en más de 40% desde sus niveles máximos en 2010. Similar situación acontece con la extracción de gas natural, que detuvo su crecimiento en 2020, pero ha restituido reservas de este combustible. La compañía inició un proceso de desinversión como medida para aliviar su situación financiera, caracterizada por un alto apalancamiento, problemas de liquidez y disminución de sus niveles de rentabilidad. Los problemas financieros han originado, incluso, la disminución de su ritmo de inversiones.

En materia de medio ambiente muestra contrastes, pues si bien cumple con los lineamientos de GRI Standards, DJSI, CDP y TCFD, impulsa la producción de bioetanol y ha logrado disminuir las emisiones de GEI 21% entre 2015 y 2021. Es cuestionada por la contaminación y de afectación a

la naturaleza originada en años anteriores. Entre las más relevantes se ubican las afectaciones en la región del Amazonas y los derrames de petróleo, tanto asociadas a problemas operativos como al hundimiento de la plataforma P-36 en 2021, que además implicó la muerte de personal.

Ha fomentado iniciativas para minimizar las emisiones de GEI, lo que lo llevó a disminuir, entre 2009 y 2021, las actividades de E&P, bien por la menor quema de gas a la atmósfera, por la captura y el almacenaje de carbono o por las mejoras operativas.

Cuenta con una planta fotovoltaica, cuatro granjas de energía eólicas y dos hidroeléctricas de pequeña escala, así como el negocio de la recarga de vehículos eléctricos en coinversión con Shell. Sobre todo, ha impulsado la producción de biocombustibles (Petrobras, 2021), así como la reforestación de 25 millones de hectáreas de ecosistema nativo con apoyo del Banco Nacional de Desarrollo Económico e Social. Desde 2021 inició una etapa de reestructuración financiera para centrarse más en la explotación de petróleo y gas natural.

En materia de sustentabilidad planteó 10 compromisos para el periodo 2025-2030, de los cuales seis se relacionan con la mitigación de los GEI, mediante la atención de los niveles 1 y 2. Entre éstos destacan cero quema de gas antes de 2030, reinyección de CO₂ y disminución en las emisiones en operaciones de E&P y refinación. Adicionalmente, planea elevar sus inversiones en materia de forestación y medidas para mejora de la naturaleza, entre las que destaca un programa de 74 proyectos de conservación marina y en tierra (Petrobras, 2022). Asimismo, planea realizar inversiones en bioproductos y biodiésel renovable.

Pemex. Es una empresa cien por ciento estatal, que opera a lo largo de la cadena de valor de la industria mexicana desde 1938. La base de su negocio se centra en la explotación de petróleo en campos convencionales —aguas someras— y en la elaboración y la comercialización de derivados del petróleo, su transporte, el almacenamiento y la distribución a través de franquicias. Cuenta con una refinería de Deer Park en Estados Unidos.

Es una empresa con múltiples retos operativos, problemas de gestión, dependencia tecnológica e influenciada por distintos grupos de interés, incluidos ajustes en sus presupuestos de inversión debido a restricciones en el

gasto público (Romo, 2016). Ha enfrentado la pérdida de reservas de hidrocarburos y el detrimento de su volumen de producción de crudo desde 2004 y de gas natural desde 2010; tiene bajo nivel de utilización de su infraestructura de refinación desde inicios de la década y de la petroquímica desde el decenio de 1980: problemas para optimizar y evitar pérdidas de combustibles en su infraestructura de transporte; además se ha enfrentado a la pérdida en su penetración en la distribución a través de sus franquicias. Hacia el cierre de 2021 enfrentó una situación financiera compleja caracterizada por presiones de liquidez, elevado apalancamiento y nula rentabilidad —aunque preserva un nivel competitivo de utilidades antes de impuestos—, situación que le originó la degradación de su calificación crediticia a mediados de 2020.

Desde la década de 1980, se inició un proceso de pérdida de su poder monopólico, que se aceleró con la reforma energética de 2013 en una forma de acumulación por desposesión en el país (Merchand, 2015). A pesar de los apoyos gubernamentales en materia de capitalización —50 millones de dólares entre 2016 y 2021— y disminución de impuestos entre 2019 y 2022, y el nuevo impulso de apoyo de la política pública del gobierno actual, la compañía continúa registrando avances operativos poco significativos y contrastantes respecto de las metas fijadas en su plan de negocio 2019-2023 (Pemex, 2019).

En materia ambiental mantiene pendientes en el abatimiento de las emisiones de GEI, pues no ha logrado reducir la quema de gas a la atmósfera; ha enfrentado derrames operativos, asociados al desarrollo de sus actividades, particularmente en la transformación y el transporte de hidrocarburos, así como al robo de combustibles; no ha aumentado su capacidad para elaborar gasolina, diésel y turbosina con menor contenido de azufre. Así, las emisiones totales de óxidos de nitrógeno son elevadas, de 1.3 millones de toneladas, la mayor parte originadas en la división de transformación, tanto por la operación de los equipos, como porque han estado fuera de operación algunas plantas de recuperación de azufre. Durante 2021 invirtió alrededor de 50 millones de dólares en temas ambientales.

En materia social, dirige recursos a programas y obras, principalmente a través de donaciones; sin embargo, están orientados a neutralizar problemas operativos y son influidos por intereses de grupos internos y ajenos a

la empresa. Los temas de seguridad industrial y salud ocupacional los gestiona a través del Sistema de Seguridad, Salud y Protección Ambiental (SSPA). Entre otros indicadores, da seguimiento al número de accidentes incapacitantes por millón de horas trabajadas y al número perdido de horas-hombre trabajadas. En ambos ha registrado avances en relación con inicios de la década.

Lleva a cabo acciones para la optimización del agua en refinerías y en otros procesos; trata de cumplir con los parámetros de descargas de efluentes; promueve la reducción de las emisiones mediante la rehabilitación y el reacondicionamiento de instalaciones, controles operativos, reducción del desfogue e instrumentación de programas de prevención y control, entre otras acciones; impulsa iniciativas de remediación de los sitios afectados y promueve el uso racional de la energía al tiempo que implementa sistemas de gestión y control de sus operaciones (Pemex, 2021). Sin embargo, en un contexto de austeridad y ante la necesidad de reactivar áreas operativas, esas acciones están acotadas o se sujetan al acompañamiento de negociación con otras empresas. Así, por ejemplo, existen medidas poco contundentes para la mejora de la calidad de los combustibles elaborados —derivados de ultrabajo azufre— o para el impulso de proyectos de cogeneración. Se vislumbran pocas posibilidades para que la petrolera estatal mexicana incursione en el negocio de las fuentes renovables, aunque continuará enfocándose en el fomento de los temas de responsabilidad social. A diferencia del resto de las empresas analizadas, Pemex no participa en los lineamientos de GRI Standards, DJSI, CDP y TCFD.

Pemex se ha abocado a atender los compromisos nacionales en materia de cambio climático, para lo cual planea reducir el uso del agua en el proceso del crudo, del gas natural y de la petroquímica y disminuir las emisiones de GEI para 2030 (14% en comparación con 2013), incluido el consumo de combustible y la quema de gas a la atmósfera; también pretende mejorar el desempeño energético y mantener sus políticas de conservación y remediación del ecosistema. La base de las acciones anteriores son las mejoras operativas y la incorporación y la rehabilitación de infraestructura, así como la instauración de programas de prevención, monitoreo y control (Pemex, 2022).

El contraste en el tratamiento del tema ambiental por las petroleras en relación con Pemex

En los esfuerzos para abatir la contaminación y el deterioro de la naturaleza las empresas petroleras desempeñan un rol relevante. Por lo anterior, necesitan adaptar sus estrategias a las condiciones del mercado energético (Fattouh *et al.*, 2019). De sus acciones en los años recientes se puede destacar lo siguiente:

- En general, las petroleras Shell, Exxon-Mobil, Chevron y BP cuentan con una estructura financiera y de recursos más robusta para modificar sus modelos de negocios hacia la atención de temas ambientales y la preservación de la naturaleza. Sin embargo, la base fundamental de sus negocios continuará siendo sus actividades a lo largo de la cadena de valor de la industria petrolera y los negocios con mayor potencial como el del GNL.
- En los años recientes la mayoría ha emprendido campañas para incursionar en temas como la transición energética, la disminución de emisiones GEI y la atención a los daños a la naturaleza, pero incorporan proyectos de bajo impacto en comparación con el volumen del negocio petrolero. Destacan los planes anunciados en 2021, los cuales cobran mayor relevancia ante la crisis energética europea y los problemas de abasto ruso y la existencia de una matriz energética centrada en más de tres cuartas partes en combustibles fósiles (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2022).
- La política de gobierno corporativo es más robusta en las grandes petroleras, al grado de que integran a su consejo de administración a miembros que están a favor del medio ambiente (Exxon-Mobil), al tiempo que son presionados para adoptar políticas energéticas públicas basadas en bajas emisiones de GEI. En contraste, en las petroleras públicas en estudio se aprecia una menor atención al respecto, a pesar de sus discursos difundidos.

- Para todas las compañías analizadas existen afectaciones ante la baja de los precios del petróleo crudo, especialmente en el nivel de inversiones. Las más significativas son para las petroleras nacionales. En particular, Pemex muestra una mayor vulnerabilidad, lo que afecta su capacidad para preservar y ampliar sus políticas a favor del medio ambiente y de la conservación de la naturaleza.
- Pemex está operando algunos proyectos de cogeneración. En contraste, el resto de las petroleras analizadas ha incursionado en distinto grado en la explotación de fuentes alternas de energía, siendo la de mayor iniciativas Shell (cuadro 1).
- Un factor esencial en los casos analizados es el grado de relevancia que las petroleras asignan a la IDT y los resultados obtenidos. Destacan Shell y Exxon-Mobil y, en menor medida, BP y el propio Petrobras. En contraste Pemex mantiene una posición pasiva, lo que agudizará su dependencia tecnológica y lo mantendrá rezagado en los temas de transición energética.

CUADRO 1. *Explotación de fuentes no convencionales de empresas en estudio vs. Pemex*

Concepto	Chevron	Exxon	BP	Shell	Petrobras	Pemex
Carbón	n. a.	n. a.	n. a.	Opera	n. a.	n. a.
Eólica (mw)	Opera	Opera	Opera	Opera	n. a.	n. a.
Geotermia	Algunos	n. a.	Algunos	n. a.	n. a.	n. a.
Biocombustibles	Incipiente	Algunos	Incipiente	Algunos	Robusto	n. a.
Energía solar	Algunos	Algunos	Algunos	Algunos	Incipiente	n. a.
Biomasa	Incipiente	Estudia	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
Hidrógeno p/energía	n. a.	Estudia	Estudia	Opera	n. a.	No genera
Generación potencia (mw)	Opera	Opera	Opera	Opera	Opera	Incipiente
Almacenamiento CO ₂	Operará	Opera	Opera	Opera	Planea	n. a.
Infraestructura VE	Opera	n. a.	Opera	Opera	Incipiente	n. a.

NOTA: n. a. = no aplica.

FUENTE: elaboración propia con datos de los informes de sustentabilidad de las empresas.

Reflexiones finales

No se prevén cambios estructurales en los modelos de negocio de las petroleras en estudio, al menos en una década, a pesar de su discurso a favor del combate a las emisiones de GEI. El apetito por mantener atractivos sus márgenes de rentabilidad continuará prevaleciendo, situación que seguirá ligada a sus potencialidades y al cúmulo de experiencia que les da ventajas inigualables en una actividad compleja y vulnerable a la volatilidad en los precios de los hidrocarburos y derivados. Lo anterior, en un

CUADRO 2. Indicadores de Exxon-Mobil, Shell, BP, Chevron, Petrobras y Pemex, 2021
(miles de millones de dólares)

Concepto	Exxon-Mobil	BP	Chevron	Shell	Petrobras	Pemex
Ventas totales	285.6	157.7	162.5	261.5	84.0	72.7
Utilidad antes de impuestos	31.2	15.2	21.6	29.8	28.2	11.1
Inversiones de capital	16.6	12.8	27.6	19.0	8.8	16.0
Reservas de petróleo (mmbpce)	12 174	10 124	6,113	4,048	8 435	5 995
Reservas gas natural (bcf)	38 175	39 615	30 908	27 744	8 657	4 667
Producción de petróleo (mbd)	2 289	1 951	1 814	1 685	2 253	1 736
Producción de gas natural (mmpc)	5 426	7 915	7 709	8 687	2 925	3 768
Estaciones de servicio (#)	22 545	20 500	8 000	45 020	6 982	6 999
Capacidad de refinación (mbd)	4 670	1 750	1 800	2 149	2 420	1 654
Producción de refinados vendidos (mbd)	5 162	2 832	2 454	4 459	1 806	1 105
Pasivo total/activo total	48%	69%	42%	57%	60%	110%
Ventas a activos totales (veces)	0.84	0.55	0.68	0.65	0.48	0.73
Ventas a empleados (md)	4.53	2.39	4.33	3.19	1.84	0.59
Margen neto	8.1%	5.4%	9.7%	7.9%	23.8%	-19.8%
Retorno sobre capital	13.1%	9.4%	11.2%	11.8%	28.6%	n. s.
Reservas a producción de petróleo (años)	14.6	14.2	9.2	6.6	10.3	9.5

NOTAS: mmbpce = millones de barriles de petróleo crudo equivalente; bcf = billones de pies cúbicos; mbd = miles de barriles por día; md = miles de dólares.

FUENTE: elaborado con datos de los informes anuales de las empresas.

entorno caracterizado por presiones de las políticas públicas en pro del medio ambiente, complicaciones en el entorno económico global y las disputas geopolíticas.

Existen algunas coincidencias en las políticas de atención social y seguridad industrial en el grupo de petroleras analizadas que en general atienden a través de sus políticas de gobierno corporativo. Sin embargo, aún restan áreas de oportunidad en materia de beneficio social y económico en sus áreas de influencia operativa, así como en las ligadas a temas de administración de riesgos.

Los avances logrados por las petroleras en estudio en los temas medioambientales y, en particular, en materia de transición energética, contrastan con los que imperan en Pemex, que centra sus actividades en el negocio de los hidrocarburos. Si bien la consolidación de las estrategias emprendidas por el actual gobierno para fortalecer el desempeño de Pemex son el principal reto, también debe considerarse profundizar la atención en los temas de reducción de emisiones de los GEI y, en particular, alentar acciones en torno de la transición energética. Lo anterior, con el fin de atender los compromisos de México en relación con los Objetivos del Desarrollo Sostenible, que en la práctica parece complicado cumplir. En las condiciones de la petrolera estatal es recomendable alentar una estrategia inicial hacia la diversificación de su portafolio de productos, como puede ser el empleo de biocombustible y de hidrógeno verde y acciones para alentar el secuestro del CO₂ o ampliar el aprovechamiento del potencial de cogeneración.

Referencias

Agencia Europea del Medio Ambiente, en (2022). *Energía*. <https://www.eea.europa.eu/pt/themes/energy/intro>.

BP (2021). *Energy Outlook 2020*.

——— (2022). *PB update on strategic progress*.

Chevron (2021, septiembre 14). *Chevron accelerates lower carbon ambitions*, en <https://www.chevron.com/newsroom/2021/Q3/chevron-accelerates-lower-carbon-ambitions>.

——— (2022). *2021 corporate sustainability report*.

- Coffin, M. (2020). *Why oil majors' climate ambitions fall short of Paris limits*. Carbon Tracker Initiative, en <https://carbontracker.org/reports/absolute-impact/>.
- EIA (2021). *International energy outlook 2021*.
- EPA (Environmental Protection Agency). (2022). *Scope 1 and scope 2 inventory guidance*. EPA, en <https://www.epa.gov/climateleadership/scope-1-and-scope-2-inventory-guidance>.
- Exxon-Mobil. (2022a). *Advancing climate solutions, 2022 progress report*.
- Exxon-Mobil. (2022b). *Exxon-Mobil announces ambition for net zero greenhouse gas emissions by 2050*.
- Fattouh, B., Poudineh, R., y West, R. (2019). The rise of renewables and energy transition: what adaptation strategy exists for oil companies and oil exporting countries? *Energy Transitions*, 3, 45-58, en <https://doi.org/10.1007/s41825-019-00013-x>.
- Graca (2014). Strategic decisions of international oil companies: Arctic versus other regions. *Energy Strategy Reviews*, 2, 265-272.
- Grasso, M. (2019). Oily politics: a critical assessment of the oil and gas industry's contribution to climate change. *Energy Research & Social Science*, 50, 106-115. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.11.017>.
- Hicks, M., y Holzberg, M. (2021, agosto 13). *Companies with the highest carbon emissions spend big in government*. Open Secrets.
- IEA (2020). *Sustainable development scenario*. IEA.
- Influence Map (2019, marzo). *Big oil's real agenda on climate change: how the oil majors have spent \$1bn since Paris on narrative capture and lobbying on climate*, en <https://influencemap.org/report/How-Big-Oil-Continues-to-Oppose-the-Paris-Agreement-38212275958aa21196dae3b76220bdbc>.
- Kenner, D., y Heede (2021). White knights, or horsemen of the apocalypse? Prospects for Big Oil to align emissions with a 1.5 °C pathway. *Energy Research & Social Science*, 79, en <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102049>.
- Li, M., Trencher, G., y Asuka, J. (2022). The clean energy claims of BP, Chevron, Exxon-Mobil and Shell: a mismatch between discourse, actions and investments. *Plos One*, 17(2) 1-27, en <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263596>.
- Lonney, B. (2022). *Strategy overview*, en <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/investors/2q-strategy-2020-bernard-looney-strategy-overview.pdf>.
- Management Solutions (2020). *La gestión de riesgos asociados al cambio climático*.
- McWilliam y Siegel (2001). Corporate social responsibility: a theory of the firm perspective. *The Academy of Management Review*, 26 (1), 117-127.

- Merchand. (2015). Estado y reforma energética en México. *Problemas del Desarrollo*, 183 (46), 117-138.
- NS Energy (2018). *BP to divest three wind energy facilities in U. S.* NS Energy.
- Pemex (2019). *Plan de negocio, 2019-2023*. Pemex.
- (2021). *Plan de negocios, 2021-2025*. Pemex.
- (2022). *Estrategia ASG*. Pemex.
- Peng, Y., Li, J., y Yi, J. (2019). International oil companies' low-carbon strategies: confronting the challenges and opportunities of global energy transition. *Earth and Environmental Science*, 237 (4), en <https://doi.org/10.1088/1755-1315/237/4/042038>.
- Petrobras (2021). *F-20 annual report*. Petrobras.
- (2022). *Climate change suplement*. Petrobras.
- Romo, D. (2016). La situación de Pemex ante el contexto de la apertura de la industria petrolera en México. *Análisis Económico*, 31 (76), 75-94.
- Shell (2021). *Powering progress program*. Shell.
- Shojaeddini, Naimoli, Ladislav y Bazilian (2019). Oil and gas company strategies regarding the energy transition. *Progress in Energy*, 2-19.
- Suili y Viera (2012). Striving for legitimacy through corporate social responsibility: insights from oil companies. *Journal of Business Ethics*, 413-427.
- Zycher, B. (2021). *The climate leadership council 'suspends' Exxon-Mobil*. American Enterprise Institute.

VI. Gestión de recursos socioecológicos y técnicos. Un caso de estudio de los hidrocarburos en México

EUGENE HAKIZIMANA¹
ESTEBAN MARTÍNEZ DÍAZ²
CRISTINA GARIBAY BAGNIS³

Resumen

La gestión de los recursos socioecológicos y técnicos se basa en un sistema complejo que afecta el proceso de toma de decisiones adecuadas para la sustentabilidad. Éste se observa en el caso de los hidrocarburos en México, donde se han convertido en un campo de batalla clave en el impulso del gobierno federal para aumentar el control de estos recursos. El presente capítulo estudia los hidrocarburos como recursos socioecológicos, cómo se convierten en un problema socioecológico complejo, cómo se ha solucionado este problema a lo largo del tiempo y, por último, cómo surgen las innovaciones en el proceso de la gestión de este tipo de recursos. El estudio utiliza el contexto y el método del marco teórico de los sistemas socio-ecológicos según E. Ostrom, para el análisis de la complejidad de estos recursos, y está dividido en: *i*) recursos socioecológicos y su contexto en los hidrocarburos en México, *ii*) sistema socioecológicos de los recursos, *iii*) sistema de recursos socioecológicos de los hidrocarburos, *iv*) desarrollo técnico de los hidrocarburos como sistema de los recursos socioecoló-

¹ Doctor en Ciencias Económicas. Profesor-investigador en la Escuela Superior de Comercio y Administración (unidad Santo Tomás), Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1804-1516>

² Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor-investigador en la Escuela Superior de Comercio y Administración (unidad Santo Tomás), Instituto Politécnico Nacional, México.

³ Doctora en Tecnología de Alimentos. Profesora-investigadora en la Escuela Superior de Comercio y Administración (unidad Santo Tomás), Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4858-1110>

gicos y v) innovación para la sustentabilidad de los recursos hidrocarburos en México.

Palabras claves: sistema de recursos socioecológicos, gestión de recursos socioecológicos, desarrollo técnico.

Introducción

Este capítulo estudia cómo la gestión de los recursos socioecológico y técnicos constituye un proceso complejo. Éste se observa en recursos hidrocarburos mexicanos que de su sistema evolutivo,⁴ se convirtieron en un sistema de recursos socioecológicos que ha impulsado el desarrollo de los conocimientos administrativo y técnico remarcables desde la época prehispánica hasta hoy.

Para alcanzar su objetivo, el capítulo trata de responder las siguientes preguntas; ¿cómo los hidrocarburos se convierten en recursos socioecológicos y cómo la gestión de estos recursos genera innovación tecnológica? Para responder esas cuestiones se utiliza el contexto y el método del marco-teórico de los sistemas socioecológicos de E. Ostrom que es un marco teórico para estudiar los patrones de interacciones del éxito o el fracaso de los sistemas socioecológicos, como es el caso de los hidrocarburos. El capítulo está dividido en: *i)* recursos socioecológicos y su contexto en los hidrocarburos en México, *ii)* sistema socioecológicos de los recursos, *iii)* sistema de recursos socioecológicos de los hidrocarburos, *iv)* desarrollo técnico de los hidrocarburos como sistema de los recursos socioecológicos, *v)* innovación para la sustentabilidad de los recursos hidrocarburos en México. El capítulo muestra que el éxito de la gestión de los recursos socioecológicos se debe al proceso evolutivo de la innovación tecnológica.⁵

⁴ Este sistema se refiere al uso tradicional del sistema orientado al mercado de los hidrocarburos en México.

⁵ La innovación tecnológica en este contexto se refiere al conjunto de las soluciones que se llevaron a cabo para generar una gestión exitosa de los hidrocarburos en México.

Recursos socioecológicos y su contexto en los hidrocarburos en México

Recursos ecológicos

Para definir los recursos ecológicos utilizamos la definición de Scott *et al.* (1998), según la cual los recursos ecológicos son recursos naturales que proporcionan ciertas funciones necesarias de mantenimiento del sistema, pero visibles dentro de los ecosistemas (Scott *et al.*, 1998). De esta definición, los recursos ecológicos son recursos naturales sujetos a sus servicios al ecosistema y a la vida del ser humano. La falta de la gestión adecuada de estos recursos genera una crisis enorme en el ecosistema y también a la economía en general. Éste es el ejemplo de los hidrocarburos cuya mala gestión afecta al ecosistema y a la economía del país.

Recursos naturales es un término amplio que se puede utilizar para describir cualquier característica natural de nuestro planeta. Se pueden clasificarse de la siguiente forma:

- Los recursos bióticos que se obtienen de la biosfera (materia viva y orgánica), como los bosques y los animales, y los materiales que se pueden obtener de ellos.
- Los recursos abióticos, esto es, aquellos que provienen de material no vivo, no orgánico, como la tierra, el agua dulce, el aire y minerales como el oro, el hierro, el cobre, la plata, etcétera.
- Los recursos también se pueden clasificar en renovables, por ejemplo, la energía, y no renovables, por ejemplo, los hidrocarburos.

Este capítulo se centra en los recursos no renovables como los hidrocarburos. Aborda los hidrocarburos como recursos socioecológicos y cómo su gestión ha generado desarrollo técnico y de innovación.

Gestión de recursos ecológicos

Introducción

A lo largo del tiempo, la gestión de los recursos ecológicos se ha expresado por los economistas como las actividades y los procesos que conllevan hacer posible la vida del ser humano. En esta parte del capítulo explicaremos la gestión de los recursos ecológicos en el contexto del desarrollo sostenible.

Desarrollo sostenible de recursos ecológicos

Para describir el desarrollo sostenible consideramos la definición de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, según la cual “el desarrollo sostenible es una forma que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Lara y Doyen, 2008, p. 4); (Foxon *et al.*, 2013). Esto significa que en el ámbito de la gestión de los recursos socioecológicos se debe tener precaución de comprometer los recursos necesarios para las futuras generaciones. Este es un objetivo de la gestión exitosa de los recursos ecológicos que está centrado en el principio de precaución.

Principio de precaución

Este principio resulta de poner en el contexto de los peligros, las crisis, la degradación y las catástrofes que afectan el medio ambiente o la salud humana las políticas públicas para enfrentar a tiempo tales problemas (Lara y Doyen, 2008, p. 4).

Aunque no hay definición común del principio de precaución, la idea general es que éste exige una acción protectora inmediata en lugar de una demora de prevención hasta que se resuelva la incertidumbre científica. Estas soluciones son de largo tiempo y para no proporcionar las soluciones simples a los casos complejos; por ejemplo, en el caso de los recursos ecológicos que funcionan en sistemas complejos, se necesitan herramientas adecuadas de análisis como el marco teórico de los sistemas socioecológicos (SES) de E. Ostrom (2007).

Sistema socioecológico de los recursos

Los SES son sistemas complejos (Ostrom, 2005, p. 256; 2007; 2012, p. 393). Esto se debe a las interacciones de los sistemas sociales y ecológicos (Wilson *et al.*, 1998). Lo anterior se puede ver desde dos perspectivas. La primera perspectiva es la naturaleza de los sistemas de recursos ecológicos mediante los cuales interactúan con otros sistemas de recursos a nivel local o global (Levin, 1999). Esto se puede observar en el cuadro 1 de los anexos: la explotación y la comercialización de los hidrocarburos afectan otros recursos naturales; por ejemplo, el agua, el aire, el suelo, y la biota (INECC, 2022).

Por lo tanto, en la medida en que los SES sean complejos, a menos que existan instituciones sólidas para gobernar los incentivos y las acciones de los usuarios de los SES, hay destrucción del sistema de recursos (Anderies *et al.*, 2003). Los SES son sistemas ecológicos más grandes utilizados por muchas personas y tienen un impacto global, mientras que la gestión se realiza a nivel local (Levin, 1999).

Dado que los patrones de las interacciones se realizan a nivel local y los resultados, como la destrucción de recursos, se observan a nivel mundial, existe dificultad para evaluar el impacto de la acción colectiva en las medidas de sostenibilidad de los recursos. En este caso, la robustez del diseño institucional se logra cuando se considera el impacto del sistema ecológico de los recursos sobre la situación de acción. En consecuencia, debería existir un marco que considere el impacto de la evaluación del sistema ecológico.

La segunda perspectiva es que los sistemas sociales son complejos. Esto, en el sentido de que involucran muchos espacios de actuación interrelacionados de usuarios y proveedores de las infraestructuras públicas. Por lo tanto, si no existen instituciones sólidas para regular las interacciones en estos espacios de acción los resultados del uso de SES pueden no ser los deseados. Para hacer frente a este problema, el desarrollo del marco SES comenzó con la ambición de estudiar qué hace que los SES sean robustos. La solidez de los SES se puede evaluar en términos de ocho principios (Anderies *et al.*, 2004; Ostrom, 2005).

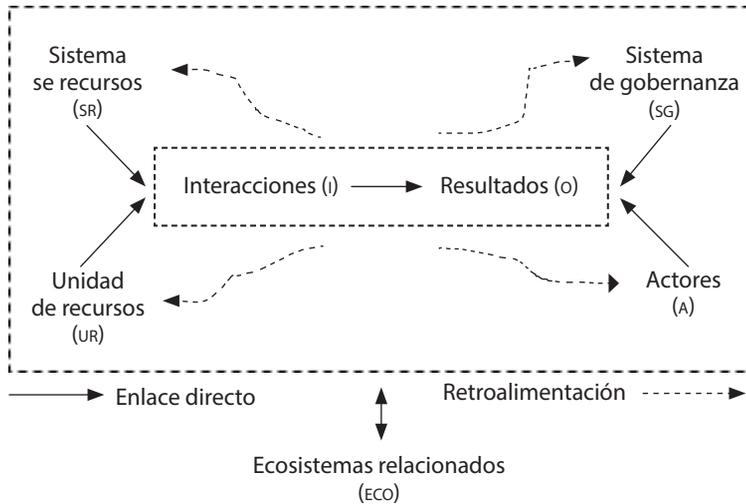
El marco SES permite el análisis de los siguientes atributos: *i*) el sistema de recursos, *ii*) las unidades de recursos generadas por ese sistema, *iii*) los usuarios de ese sistema, y *iv*) el sistema de gobernanza, todos los cuales y son conjuntamente afectados por las interacciones y los resultados obtenidos en un momento y un lugar determinados. En este contexto, el marco SES es un marco multinivel donde cada una de las categorías anteriores constituye un sistema de variables interrelacionadas. El marco también permite organizar cómo estos atributos pueden afectar y verse afectados por entornos socioeconómicos, políticos y ecológicos pequeños o más grandes en los que están integrados. El marco tenía la intención de ser un paso adelante hacia la construcción de una sólida ciencia interdisciplinaria de sistemas complejos y multinivel que permitiera el análisis de los problemas complejos relacionados con la gestión de los SES (Ostrom, 2007).

El desarrollo del marco SES tuvo como objetivo el análisis de problemas complejos relacionados con la gestión de los SES (Thiel *et al.*, 2015). Por lo tanto, para identificar la complejidad incrustada en el SES, el marco SES de Ostrom se conceptualizó como un marco general y un mapa conceptual compuesto por elementos estructurales que se encuentran en el concepto de niveles y vínculos entre variables.

Contiene primer y segundo nivel. En los primeros niveles, comprende tres “subsistemas centrales de primer nivel”, a saber: *i*) un sistema de recursos y unidades de recursos, *ii*) un sistema de gobierno y *iii*) usuarios, que también se afectan entre sí, como entornos sociales, económicos y políticos vinculados y ecosistemas relacionados. En los segundos niveles, también se ha identificado un conjunto de variables de que son útiles para el análisis SES y que pueden clasificarse por estos subsistemas centrales. Las instituciones forman parte de ambos subsistemas sociales, es decir, de los sistemas de gobernanza y de los usuarios. Más específicamente, el sistema general de derechos de propiedad, las reglas operativas, de elección colectiva y constitucionales, son variables del sistema de gobernanza, mientras que las normas son variables del sistema de usuarios. En la figura 1 se ilustra el marco Ostrom para 2007.

El marco SES de Ostrom juega un papel importante de evaluación y se centra en una situación de acción para mejorar los resultados. Como ya vimos, este proceso de transformación de la situación de acción para afec-

FIGURA 1. Un marco de varios niveles para analizar un sistema socio-ecológico



FUENTE: Ostrom, 2007.

tar los resultados implica un conjunto complejo de transformaciones. En consecuencia, el marco SES es un marco general que dirige la investigación al conocimiento acumulativo, coherente y empíricamente respaldado y está diseñado como un marco descomponible en el que cada una de sus variables conceptuales de más alto nivel pueden ser desglosadas en el nivel inferior y relacionadas con otras variables desempaquetadas en teorías comprobables que relacionan los resultados del uso humano de los diversos tipos de SES (Ostrom, 2007). En este contexto, el SSE no sólo se considera una suma de sus partes, sino también interacciones entre sus partes en fenómenos dependientes.

Sin embargo, deberíamos profundizar más en el marco SES para obtener esas variables independientes cuyas interacciones y patrones de interacciones exitosas o no exitosas afectan los resultados. Así, se establecieron las variables del segundo piso, las cuales se muestran en el cuadro 1.

De acuerdo con ese cuadro el marco SES contiene 28 variables cuyas interacciones afectan los resultados obtenidos en la explotación y la comercialización de los hidrocarburos.

La descomposición de SES en subsistemas (variables en el primer nivel y variables en el segundo nivel) es muy importante para abordar el problema de la complejidad al mostrar cómo las variables interactúan y forman

CUADRO 1. Variables de segundo nivel en el marco para analizar SES

Contextos sociales, económicos y políticos (S)	
S1, Desarrollo económico. S2, Tendencias demográficas. S3, Estabilidad política. S4, Políticas gubernamentales de liquidación. S5, Disponibilidad de mercado	
Sistema de recursos (RS) y unidades de recursos (RU)	Sistema de gobernanza (SG)
	GS1, Organizaciones gubernamentales GS2, Organizaciones no gubernamentales GS3, Estructura de la red GS4, Sistemas de derechos de propiedad GS5, Reglas operacionales GS7, Reglas constitucionales
	Usuarios (U)
RS1, Sector (petrolero)	U1, Número de usuarios
RS2, Claridad de los límites del sistema	U2, Atributos socioeconómicos de los usuarios
RS3, Tamaño del sistema de recursos	RU3, Historia de uso
RS4, Instalaciones construidas por humanos	U4, Ubicación
RS5, Productividad del sistema	U5, Liderazgo/emprendimiento
RS8, Características de almacenamiento	U6, Normas/capital social
RU3, Interacción entre unidades de recursos	U7, Conocimiento de los SES/Modelos mentales
RU4, Valor económico	U8, Dependencia a los recursos
RU5, Tamaño	U9, Tecnología usado
Interacciones (I)	Resultados (O)
I1, Niveles de cosecha de diversos usuarios	O1, Medidas de desempeño social (por ejemplo, eficiencia, equidad, rendición de cuentas)
I2, Intercambio de información entre usuarios	O2, Medidas de rendimiento ecológico (por ejemplo emisiones)
I5, Actividades de inversión	O3, Externalidades a otros SES
I6, Actividades de cabildeo	
Ecosistemas relacionados (ECO)	
ECO1, Patrones climáticos. ECO2, Patrones de contaminación. ECO3, Flujos dentro y fuera del SES focal	

FUENTE: Ostrom, 2007.

patrones de interacciones y producen resultados. Esto es con el fin de determinar la complejidad de los procesos que pueden conducir a resultados mejorados o no deseados.

Sistema de recursos socio-ecológicos de los hidrocarburos

Antecedentes de la gestión tecnológica de los hidrocarburos en México

En este capítulo los hidrocarburos se refieren a los hidrocarburos petroléos según Berkowitz, 1997. El estudio de los antecedentes de la gestión tecnológica de los hidrocarburos en México está hecho a través del análisis del progreso tecnológico de la industria petrolera y puede llavar a cabo en dos tipos: progreso en costos puros de explotación y avances en tecnología pura de exploración (Welfens, 2011). En este capítulo, se utiliza el segundo tipo para estudiar los avances tecnológicos en la industria petrolera mexicana.

Avance tecnológico de la industria petrolera antes de la expropiación (1938)

El conocimiento y la explotación del petróleo mexicano inició en la época prehispánica bajo el nombre de “chapopote”. Debido a su uso natural en forma de goma de mascar para vigorizar, pulir y limpiar la dentadura y combatir la alitosis, también se utilizaba en la medicina prehispánica y en la construcción, como cementante, y después se convirtió en fuente de iluminantes debido a su proceso de destilación. La explotación de este producto se hacía en forma tradicional como se puede ver en la figura 2.

En 1881 se otorgó la posesión oficial de una mina en Veracruz al señor Arthur Autrey que consolidó el proceso de explotación, destilación y comercialización del petróleo en forma organizada, con suficiente técnica industrial.

Después, el desarrollo técnico de la explotación del petróleo estuvo marcado por las compañías extranjeras con la orientación de la actividad a

FIGURA 2. *Uso antiguo del chapopote*

FUENTE: Ramírez, 2022.

la exportación del aceite crudo y a la importación de combustibles y lubricantes para el mercado nacional.

Desarrollo técnico en los hidrocarburos como un sistema de los recursos socioecológicos

El desarrollo técnico de los hidrocarburos se basa en el hecho de que los hidrocarburos son un recurso natural agotable, cuya explotación ha tenido el objetivo de satisfacer necesidades presentes de los mercados nacional e internacional.

Para estudiar cómo se han desarrollado recursos técnicos en relación con la explotación y el uso de los hidrocarburos en México desde la época prehistórica, utilizamos un modelo matemático para estudiar los recursos naturales agotables (Lara y Doyen, 2008). Según este modelo, en la economía hay una mina de recursos, una acumulación de capital y un proceso de consumo.

Según este modelo, la economía de los recursos naturales agotables se expresa en un contexto dinámico como el siguiente:

$$\{S(t+1) = S(t) - r(t) \quad K(t+1) = (1 - \delta)K(t) + Y K(t), r(t) - c(t)\}$$

Donde:

- $S(t)$ es el *stock* de los hidrocarburos como recursos agotables (al comienzo del periodo $[t, t + 1]$). En el caso de los hidrocarburos de México, al inicio este *stock* era desconocido y fue conocido en el tiempo y en el espacio según el desarrollo tecnológico en el ámbito de los petróleos mexicanos.
- $r(t)$ representa el flujo de extracción por unidad discreta de tiempo. Debido a los avances tecnológicos y a la lucha a la satisfacción del mercado nacional e incremento del mercado internacional, el flujo de extracción por unidad discreta de tiempo ha tenido una tendencia creciente. Éste se refleja en el aumento de las refinerías construidas y en crecimiento de las ventas.
- $K(t)$ representa el capital acumulado, $c(t)$ representa el consumo y la función Y representa la tecnología de la economía. El parámetro δ es la tasa de depreciación del capital. El ejemplo más habitual de función de producción es la denominada función Cobb-Douglas.

$$Y(K, r) = AK^\alpha r^\beta$$

Donde los exponentes $\alpha > 0$ y $\beta > 0$ representan las elasticidades de producción relacionadas con el capital y los recursos, respectivamente. Según las tendencias de la explotación de los hidrocarburos en México, estos exponentes han crecido de manera exponencial.

Los parámetros de los niveles de consumo $c(t)$ y de extracción $r(t)$ han aumentado, de manera que han impulsado el desarrollo consecuente de los técnicos. En este sentido, la extracción $r(t)$ es irreversible, en el sentido de que

$$0 \leq r(t)$$

Además, la escasez de los hidrocarburos son escaseces de modo que:

$$0 \leq S(t)$$

Por lo tanto, de manera general la restricción de la conservación de los recursos se puede escribir como sigue:

$$S^b \leq S(t)$$

Donde $S^b > 0$ representa algún objetivo de recurso garantizado, lo cual refiere a una fuerte preocupación por la sostenibilidad siempre que tenga un valor estrictamente positivo. En el caso de México, podemos decir que esta preocupación todavía no es tanta, porque la explotación de los petróleos mexicanos ha estado marcada por la búsqueda de nuevos pozos.

También suponemos que la inversión en el capital reproducible K es irreversible en el sentido de que

$$0 \leq Y(K(t), r(t)) - c(t)$$

Aquí se identifica un crecimiento positivo del capital (tasa de crecimiento superior a la tasa de depreciación). Por lo tanto, el capital ha sido positivo:

$$0 \leq K(t)$$

Se puede imponer un requisito de sostenibilidad a través de algún nivel de consumo garantizado a lo largo de las generaciones:

$$0 \leq C^b \leq c(t)$$

El problema de la optimalidad se expresa de la siguiente manera

$$\max_{c(\cdot), r(\cdot)} \sum_{t=t_0}^{+\infty} \rho^t L(C(t))$$

Donde $\rho \in [0, 1]$ es un factor de descuento. Este modelo cuestiona cómo la tecnología impacta el estado de consumo y la extracción viable u óptima.

Asimismo, se aplica al proceso de desarrollo técnico de la explotación del petróleo mexicano antes de la expropiación. El desarrollo técnico de la

CUADRO 2. *Las mayores refinerías fundadas antes de la expropiación*

<i>Núm.</i>	<i>Nombre de la refinería</i>	<i>Año de fundación</i>	<i>Propietario</i>
1	Refinería de Árbol Grande, Tamps.	1897	Waters Pierce Oil Company
2	Refinería Ébano, SLP	1903	Doheny
3	Refinería de Minatitlán, Ver.	1908	Cía. de Petróleo El Águila
4	Refinería de Mata Redonda, Ver.	1913	Grupo Doheny
5	Refinería de Doña Cecilia, hoy Ciudad Madero, Tamps.	1914	Cía. de Petróleo El Águila
6	Refinería de Azcapotzalco, Ciudad de México	1933	Cía. de Petróleo El Águila
7	Refinería Bellavista en Tampico, Tamps.	1934	Petróleos de México, S. A.

FUENTE: elaboración propia con información de Cuadrilla (2015).

El progreso técnico a las refinerías estuvo marcado por la formación de los trabajadores nacionales que ocupaban en su mayoría los niveles técnicos por los cuales adquirieron el conocimiento que sirvió mucho al momento de la expropiación.

explotación del petróleo en México fue llevado a cabo por las compañías extranjeras mediante un esquema que pretendía enviar el aceite a sus metrópolis para su transformación e importar los productos para el mercado nacional.

Avances técnicos en las refinerías después de la expropiación

El avance técnico estuvo marcado por la reorganización de los cambios, cuando los trabajadores técnicos mexicanos de las compañías extranjeras asumieron la carga de la nueva estructura frente a las nuevas necesidades del mercado. Por ejemplo las necesidades de combustible de la Segunda Guerra Mundial y las del creciente mercado nacional.

Este avance se puede clasificar como sigue:

- i) El periodo de 1938-1950.* Este fue un periodo de esfuerzos por parte de los trabajadores para revivir, consolidar y dar vigencia a la expropiación. Los

técnicos trabajaron para asegurar la estabilización de la producción y la comercialización del petróleo. En este caso podemos destacar el trabajo del doctor Teófilo García Sancho relacionado con la producción del tetraetilo de plomo en México en 1940. Este acto dio origen a algunos productos en los ámbitos de la ciencia y la tecnología petroleras mexicanas, no solamente a nivel nacional sino también a nivel internacional.

El avance tecnológico también fue marcado por la remodelación y ampliación de algunas refinerías. En este caso podríamos mencionar la refinería de Azcapotzalco según la siguiente tabla.

CUADRO 3. *Avances técnicos en la refinería de Azcapotzalco*

<i>Año</i>	<i>Planta</i>	<i>Capacidad</i>	<i>Productos</i>
1945	Destilación "primaria"	2 700	Gas, gasolina, querosín, diésel y residuos primarios
1946	Alquilación	900	alquilación para elaborar gas avión
1946	Isomerización	900	Gasolina de alto octano

FUENTE: Cuadrilla (2015).

De este modo la refinería de Azcapotzalco aumentó su capacidad de 23 000 a 50 000 barriles por día que marca el desarrollo tecnológico observable hasta el día de hoy.

- ii) *El periodo de 1950-1960:* Se dio una desviación completa del propósito de las empresas extranjeras de producir petróleo nada más para exportación por la creación de una refinería de desarrollo regional, por la construcción de la refinería de Salamanca entre 1950 y 1955, por la modernización de la refinería de Minatitlán en 1954, y por la desintegración catalítica de la refinería de Azcapotzalco en 1959. Todo este cambio en la refinería industrial mexicana ha sido llevado a cabo mano a mano con el desarrollo de los técnicos.
- iii) *El periodo de 1960-1970.* Este periodo estuvo marcado por la modernización de las refinerías de Madero, Salamanca, Minatitlán y Azcapotzalco y por el desarrollo de los petroquímicos.
- iv) *El periodo de 1970-1980.* Este periodo fue marcado por la consolidación en la producción de los petroquímicos.

v) *El periodo de 1980-1987*. Este fue un periodo de descubrimiento de petróleo y gas en el sureste del país y la zona marítima de la Sonda de Campeche. Este trabajo estuvo acompañado por la consolidación del desarrollo de los petroquímicos. Aparte de este gran movimiento se construyeron las refinerías de Salina Cruz, de Cadereyta, de Tula y de Minatitlán.

De este desarrollo técnico de la explotación del petróleo mexicano resultó que, a 50 años de la expropiación, desaparezca la figura de las empresas extranjeras. Este desarrollo se justifica por el vínculo directo del comercio petrolero mexicano con la economía del país. Este vínculo siempre ha impulsado la importancia del buen manejo de estos recursos.

Importantes logros en el desarrollo técnico de la industria petrolera mexicana

El desarrollo técnico en la industria mexicana ha estado marcado por los siguientes logros:

- i) Consolidación de petróleos mexicanos en el ramo de la transformación industrial que impactó positivamente la educación superior.
- ii) Desarrollo de un espíritu patriota frente a las empresas extranjeras expropiadas.
- iii) Posicionamiento de la industria petrolera nivel internacional.

Según Calva Cuadrilla (2015), los resultados obtenidos por el desarrollo técnico entre 1938 y 1987 son los siguientes:

- Capacidad de refinación: se elevó 20 veces.
- Número de trabajadores: se elevó 9.2 veces.
- Rendimiento de estilados: se elevó 1.75 veces.
- Rendimiento de combustóleos: se redujo a la mitad y se fundó la industria petroquímica, cuya producción en 27 años se elevó a 232 veces.

Desarrollo institucional del petróleo mexicano

El inicio del avance institucional de la explotación del petróleo mexicano estuvo marcado por la creación del Departamento del Petróleo en Ferrocarriles Nacionales de México en 1923, con el objetivo de instituir un sistema organizado por la explotación de los yacimientos concesionados por el gobierno federal para satisfacer sus necesidades de combustible y vender los excedentes al mercado. Este acontecimiento muestra el interés del marco legal del gobierno federal en la explotación del petróleo.

Este interés estuvo marcado por el control de la administración del petróleo nacional, con el objetivo de llevar a cabo las funciones de Departamento del Petróleo de Ferrocarriles Nacionales de México y de explorar y explotar pozos nuevos, comercializar el petróleo y sus productos y representar al gobierno federal en los asuntos del ramo petrolero.

Este último fue fortalecido por la creación de la empresa Petróleos de México, S. A. (Petromex), en 1934 y de la Administración General del Petróleo Nacional (AGPN) en 1937 que facilitó en la expropiación de 1938 debido a los conflictos de interés de las compañías extranjeras.

Innovación para la sustentabilidad de los recursos hidrocarbonos en México

Concepto de la innovación

La innovación ha sido un tema estudiado por diferentes autores y ha obtenido varias definiciones. Su significado ha variado con el paso del tiempo (Manual de Oslo, 2005):

P. Escorsa Castells y J. Valls Pasola (1997) y el Manual de Oslo retoman la clásica definición de Schumpeter (1934) en que la innovación abarca los casos siguientes:

- La introducción en el mercado de un bien o bienes sensiblemente diferenciados con nueva calidad.
- La introducción de un nuevo método de producción.

- La apertura de un nuevo mercado en otro país.
- La conquista de una nueva fuente de suministro de materias o de productos semielaborados, sin tener en cuenta si esta fuente ya existe, o bien si ha de ser creada de nuevo.

Según Kline y Rosenberg (1986), la innovación es un proceso de creación de algo nuevo para comercializarlo.

Para Piatier (1987) la innovación es una idea transformada en algo vendido o usado. Según Sherman Gee (1981) y Escorsa (1997), la innovación es “el proceso en el cual a partir de una idea, invención o reconocimiento de una necesidad, se desarrolla un producto, técnica o servicio útil hasta que sea comercialmente aceptado”.

Para Bonabides (1998) la innovación es un proceso integrado por el conjunto de actividades inscritas en determinado tiempo y lugar, que llevan a introducir con éxito en el mercado una idea en forma de nuevos productos, procesos, servicios, técnicas, gestión y organización.

Según el Manual de Oslo (2005), la innovación es la introducción de un nuevo o significativamente mejorado producto (bien o servicio), de un proceso, de un nuevo medio de comercialización o de un nuevo método organizativo, en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores.

De acuerdo con estas definiciones, podemos señalar que la innovación es un proceso sistemático por el cual, a partir de las ideas innovadoras, se genera algo nuevo con valor de mercado. Este es un requisito para cualquier empresa pequeña o mediana para poder competir y crecer.

A partir de las definiciones proporcionadas arriba se identifica que la significación de la innovación ha variado revolucionariamente en dos aspectos: “novedad” y “aplicación” dominan su significado (Cotec, 2001). Es decir, la innovación implica la creación de algo nuevo y aceptado en el mercado. Con base en estos dos conceptos se diferencian la innovación y la invención (Feldman, 2004).

Las innovaciones se hacen dentro de un sistema más complejo y por eso su explicación debería ser más detallada para que no se pierda su significado (Kline y Rosemberg, 1986) y su conceptualización adquiera sentido en su incorporación a las actividades de las empresas, en las que, según

Porter (1998), mediante de la innovación se generan la competitividad y el crecimiento.

Fluid Engine es un ejemplo de las tecnologías innovadoras. Se trata de una plataforma tecnológica integral que permite la caracterización, la mezcla y los estudios de dos y tres fases de fluidos.

Conclusión

La gestión de los recursos socioecológicos en un sistema va mano a mano con el desarrollo técnico para encontrar soluciones eficientes y efectivas con el fin de generar un uso exitoso de esos recursos.

Para no ser afectado por la complejidad de estos recursos y su uso, las herramientas son necesarias como el marco socio-ecológico contextual de Ostrom.

En México, los hidrocarburos nos dan un ejemplo típico de cómo el desarrollo técnico es impredecible para cualquiera gestión por éxito de los recursos ecológicos. Este éxito se observa en el proceso evolutivo del uso de los hidrocarburos desde el periodo prehispánico hasta que estos recursos se convierten en el eje angular de la economía mexicana.

Aparte del impulso de la importancia de los hidrocarburos para el desarrollo técnico, el desarrollo institucional apoya también el desarrollo técnico. Este es el caso, entre otros, de la nacionalización del petróleo mexicano y de la creación de Pemex.

Referencias

- Anderies, J. M., Folke, C., Walker, B., y Ostrom, E. (2013). Aligning key concepts for global change policy: robustness, resilience, and sustainability. *Ecology and Society*.
- Anderies, J. M., Janssen, M. A., y Ostrom, E. (2003). *Design principles for robustness of institutions in social-ecological systems*.
- Basurto, X., y Ostrom, E. (2009). The core challenges of moving beyond Garrett Hardin. *Journal of Natural Resources Policy Research*, 1 (3), 255-259.

- Berkowitz, N. (1997). *Fossil hydrocarbons: chemistry and technology*. Elsevier Science & Technology.
- Bowles, S. (2016). *The moral economy: why good incentives are no substitute for good citizens*. Universidad de Yale.
- Chen, X., Viña, A., Shortridge, A., An, L., y Liu, J. (2014). Assessing the effectiveness of payments for ecosystem services: an agent-based modeling approach. *Ecology and Society*.
- Cox, M. (2011). Advancing the diagnostic analysis of environmental problems. *International Journal of the Commons*, 346-363.
- Cuadrilla, D. C. (2015). *Transformación industrial del petróleo en México*. Instituto Mexicano del Petróleo.
- Editorial (2008). Frameworks and theories of environmental change. *Global Environmental Change*, 249-252.
- Epstein, G., Bennett, A., Gruby, R., Acton, L., y Nenadovic, M. (2014). Studying power with the social-ecological system framework. *The Workshop on the Ostrom Workshop (wows) Conference*.
- Foxon, T. J., Köhler, J., Michie, J., y Oughton, C. (2013). Towards a new complexity economics for sustainability. *Cambridge Journal of Economics* (37), 187-208.
- Graca. (2014). Strategic decisions of international oil companies: Arctic versus other regions. *Energy Strategy Reviews*, 2, 265-272.
- Hicks, M., y Holzberg, M. (2021, agosto 13). Companies with the highest carbon emissions spend big in government. *Open Secrets*.
- Hippel, E. V. (1988). *The sources of innovation*. Universidad de Oxford.
- (2005). *Democratizing innovation*. MIT.
- (2017). *Free innovation*. MIT.
- IEA (2016). *Mexico energy outlook*. International Energy Agency, OCDE.
- (2020). *Sustainable development scenario*. IEA.
- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático) (2022, septiembre 4). *Industria petrolera*, en http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/16/parte3_13.html.
- Koontz, T. M., Gupta, D., Mudliar, P., y Ranjan, P. (2015). Adaptive institutions in social-ecological systems governance: a synthesis framework. *Environmental Science & Policy*, 53, 139-151.
- Lara, M. D., y Doyen, L. (2008). *Sustainable management of natural resources: mathematical models and methods*. Springer.

- Levin, S. A. (1999). *Fragile dominion: complexity and the Commons*. Perseus.
- Low, B., Costanza, R., Ostrom, E., Wilson, J., y Simon, C. P. (1999). Human–ecosystem interactions: a dynamic integrated model. *Ecological Economics*, 227-242.
- Management Solutions (2020). *La gestión de riesgos asociados al cambio climático*. Management Solutions.
- Ostrom, E. (2007). A diagnostic approach for going beyond panaceas. *PNAS*, 104 (39), 15181-15187, en <https://doi.org/10.1073/pnas.0702288104>.
- (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325, 419-422.
- Ostrom, E., y Cox, M. (2010). Moving beyond panaceas: a multi-tiered diagnostic approach for social-ecological analysis. *Environmental Conservation*, 37 (4), 451-463.
- Ramírez, E. (2022, septiembre 2). Usos antiguos y modernos del chapopote. *Arqueología Mexicana*, en <https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/ usos-antiguos-y-modernos-del-chapopote>.
- Rivero, A. L., y Hakizimana, E. (2016). E. Ostrom's SES framework to understand the factors of successful and unsuccessful situation in the SES: a meta-analysis of community forests in Mexico. *Fronteiras. Journal of Social, Technological and Environmental Science*, 5 (2), 103-117.
- Romo, D. (2016). La situación de Pemex ante el contexto de la apertura de la industria petrolera en México. *Análisis Económico*, 31 (76), 75-94.
- Scott, M. J., Bilyard, G. R., Link, S. O., Ulibarri, C. A., Westerdahl, H. E., Ricci, P. F., y Seely, H. E. (1998). Valuation of ecological resources and functions. *Environmental Management*, 22, 49-68, en <https://doi.org/10.1007/s002679900083>.
- Sener (Secretaría de Energía). (2022, septiembre 3). *¿Qué son los hidrocarburos?* Gobierno de México. Secretaría de Energía, en <https://www.gob.mx/sener/articulos/que-son-los-hidrocarburos>.
- Suili y Viera (2012). Striving for legitimacy through corporate social responsibility: insights from oil companies. *Journal of Business Ethics*, 413-427.
- Thiel, A., Adamsegged, M. E., y Baake, C. (2015). Evaluating an instrument for institutional crafting: how Ostrom's social-ecological systems framework is applied. *Environmental Science & Policy*, 53, 152-164.
- VanWey, L. K., Ostrom, E., y Meretsky, V. (2005). Theories underlying the study of human-environment interactions. En E. F. Ostrom (ed.), *Seeing the forest and the trees human-environment interactions in forest ecosystems* (pp. 38-71). MIT.

- Welfens, P. J. (2011). *Innovation in macroeconomics* (3ª ed.). Springer.
- Wilson, J., Low, B. S., Constanza, R., y Ostrom, E. (1998). *Scale misperceptions and the spatial dynamics of a social-ecological system* (Workshop Working Paper Series, núm. W97-32), en <https://dlc.dlib.indiana.edu/dlc/handle/10535/4324>.
- Zhao, Q., y Wen, Z. (2012). Integrative networks of the complex social-ecological systems. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 1383-1394.

Anexos

CUADRO 4. Impactos ambientales más importantes de la industria petrolera

Etapas	Fase	Descripción del impacto	Afectación de recursos naturales			
			Agua	Aire	Suelo	Biota
Exploración terrestre	Prospección física	Desmontes por construcción de rutas de acceso; remisión de cubierta vegetal o edáfica para instalar campamentos e instalaciones; actitudes depredatorias sobre recursos bióticos y abióticos por parte de quienes realizan las exploraciones.	xx		xx	xx
	Perforación	Desmontes por construcción de instalaciones; perturbación de ecosistemas; desplazamientos de especies animales.	xx		xx	xx
	Operación, pozos exploratorio	Desmontes por construcción de instalaciones; perturbación de ecosistemas; desplazamientos de especies animales; riesgos de contaminación por accidentes y explosiones.	xx		xx	xx
Exploración marina	Perforación de pozos, exploratorio	Perturbación de ecosistemas y desplazamientos de especies animales; además existen mayores riesgos de alteración de los ecosistemas marinos porque en dicho medio hay mayores posibilidades de dispersión de contaminantes que en el medio terrestre; desechos industriales y humanos.	xx			xx
	Operación de pozos exploratorio	Perturbación de ecosistemas y desplazamientos de especies animales; riesgos de contaminación por accidentes y explosiones; además hay más riesgos de alteración de los ecosistemas marinos porque hay mayores posibilidades de dispersión de contaminantes que en el medio terrestre; desechos industriales y humanos.	xx			xx

<i>Extracción terrestre</i>	Construcción de infraestructura, instalación y perforación de pozos ¹	Cambios de uso del suelo; construcción de vías de acceso que implica desmontes y modificación de la cubierta vegetal o edáfica; asimismo de manera indirecta las vías de acceso se vierten en vectores de colonización espontánea y de asentamientos irregulares; perturbación de ecosistemas y desplazamiento de especies.	x		xx	x
	Operación y mantenimiento ¹	Creación de nuevos asentamientos humanos; acumulación de residuos industriales y humanos; riesgos de fugas, derrames y explosiones de hidrocarburos; contaminación por lodos aceitosos y residuos de perforación; quemadores de gases; perturbación de ecosistemas y desplazamiento de especies.	xx	x	xx	xx
<i>Extracción marina</i>	Construcción de infraestructura, instalación y perforación de pozos ¹	Perturbación de ecosistemas y desplazamiento de especies; desechos industriales y humanos; contaminación ocasionada por el uso de maquinaria de perforación; residuos industriales y humanos.	xx			xx
	Operación y mantenimiento ¹	Contaminación del mar por emisiones líquidas (aguas negras, lodos de perforación, aceites y lubricantes gastados); sólidas (basuras domésticas, industriales, chatarras), y gaseosas (gas natural, gases condensados, dióxido de azufre, compuestos de nitrógeno); perturbación de ecosistemas y desplazamiento de especies.	xxx	xx		xx
<i>Refinación</i>	Construcción de infraestructura e instalaciones	Utilización de grandes espacios para la construcción de tanques de almacenamiento, así como de plantas industriales de transformación, sistemas para la generación y la distribución de fluidos, vapores y de enfriamiento de agua; cambios en el uso de suelo y surgimiento de asentamientos humanos; remisión de suelos; modificación del drenaje natural.	x		xx	xx

	Proceso productivo	Consumo indiscriminado de agua; contaminación por residuos industriales de alta toxicidad y no biodegradables; descargas de aguas contaminadas; emanaciones atmosféricas; contaminación térmica; riesgos de fugas, derrames y explosiones consumo indiscriminado de agua; riesgos de fugas, derrames y explosiones; incremento de la actividad económica regional.	xx	xx	xx	xx
	Operación y mantenimiento	Consumo indiscriminado de agua; riesgos de fugas, derrames y explosiones; incremento de la actividad económica regional o local; cambios de uso de suelo; polo de desarrollo que modifica la estructura productiva y poblacional regional.	xx	xx	xx	xx
<i>Petroquímica</i>	Construcción de infraestructura e instalaciones	Cambios de uso de suelo; modificación de grandes espacios para la construcción de plantas industriales, tanques de almacenamiento, etc.; perturbación de ecosistemas; desplazamiento de especies animales; surgimiento de polos de atracción poblacional; modificación del relieve y el drenaje natural.	x		xx	xx
	Proceso productivo	Consumo indiscriminado de agua; contaminación por residuos peligrosos; incorporación de desechos y residuos químicos al agua de descarga; evaporación del agua con residuos asociados; disposición de aguas servidas o negras; descargas de aguas residuales; emisiones del proceso de combustión y emisiones de humos, polvos y gases o escapes del proceso de transformación petroquímico, evapotranspiración de sitios de almacenamiento; contaminación por energía calorífica.	xxx	xxx	xxx	xxx
	Operación y mantenimiento	Cambio de uso de suelo; aumento de la actividad económica; consumo indiscriminado de agua; riesgos de fugas, derrames y explosiones; polo de desarrollo que modifica la estructura productiva y poblacional regional.	xxx	xxx	xxx	xxx

<i>Transporte</i>	Construcción de Infraestructura	Eliminación de cubierta vegetal; perturbación de ecosistemas; remoción de suelos; alteración del relieve y drenaje natural por la construcción de túneles, terracerías, obras de drenaje, pavimentación, puentes, pasos a desnivel, entronques y obras complementarias (véase capítulo sobre industria del transporte).	x	xx	xx
	Operación	Riesgos por derrames de residuos peligrosos; perturbación de ecosistemas; ruido; contaminación de las aguas marinas.	xx ²	x ²	x ²
<i>Distribución y almacenamiento</i>	Construcción de infraestructura y redes de ductos	La construcción de ductos implica excavaciones, zanjeado, terraceo, relleno; cambios de uso del suelo con la construcción de agencias de almacenamiento; desmontes o limpia de terrenos; perturbación de ecosistemas; remoción de suelos, pavimentación y vías de acceso.	x	xx	xx
	Operación	Las redes de ductos de distribución están siempre sujetos a riesgos de accidentes de diversa índole que de producirse significan derrames, explosiones, incendios; desprendimientos de gases de los tanques de almacenamiento (evapotranspiración); vertimientos de residuos de hidrocarburos.	x	xx	xx
<i>Comercialización y ventas</i>	Construcción de infraestructura	Aunque dichos establecimientos manejan volúmenes "reducidos" de hidrocarburos y derivados el conjunto de todos estos establecimientos los conviene en importantes focos contaminantes.		xx	
	Operación	Aunque los establecimientos de comercialización y ventas al menudeo manejan volúmenes "reducidos" de hidrocarburos y derivados (gas de uso doméstico, petróleo diáfano, diésel, gasolinas, grasas, aceites, solventes, resinas), la generalidad de estos lugares no cuenta con dispositivos adecuados de control de emisiones, derrames o vertimientos al suelo, así como a los sistemas municipales de aguas negras; implican riesgos de fugas, derrames y explosiones, además de desprendimientos de gases por evapotranspiración.	xx	xx	xx

<i>Consumo</i>	Combustión industrial y vehicular	Contaminación atmosférica por monóxido de carbono; bióxido de azufre; óxidos de nitrógeno; plomo y ruido.	xx	xx	xx
----------------	-----------------------------------	---	----	----	----

Notas: x = impacto bajo; xx = impacto medio; xxx = impacto grave.

¹ En el caso de derrames el impacto ambiental sobre agua, suelo y biota es grave.

² Impacto grave en el caso de derrames de residuos y materiales peligrosos.

FUENTE: INECC (2022).

*Innovación y gobernanza para el desarrollo
sustentable en México*, María Concepción
Martínez Rodríguez, Dulce María Monroy Becerril
(coordinadoras.), publicado por Ediciones Comunicación
Científica, S. A. de C. V., se terminó de imprimir en noviembre
de 2022, en Litográfica Ingramex S.A. de C.V., Centeno 162-1, Granjas
Esmeralda, 09810, Ciudad de México, México. El tiraje fue de 500 ejemplares
impresos y en versión digital en los formatos PDF, Epub y HTML.

Innovación y gobernanza para el desarrollo sustentable en México contribuye a los temas de la industria inteligente y tecnologías emergentes, transformaciones sociales y sustentables. En nuestra visión, el desarrollo sustentable de las sociedades se basa de manera crucial en la evaluación y mejora de la interacción entre los recursos naturales, sociales y técnicos. El desafío del desarrollo sustentable sólo puede ser manejado por su coevolución productiva. El presente libro busca investigar cómo dichos procesos pueden ser apoyados por enfoques de gobernanza, basados en una comprensión más profunda de cómo y cuándo ocurren las innovaciones sustentables y pueden conducir a las llamadas “transiciones”. En particular, el libro se centra en la investigación fundamental y aplicada sobre la gobernanza, la dinámica institucional y de gestión de los recursos naturales, sociales y técnicos, así como su interacción. Dentro de esta complejidad, nuestra investigación propone una relación estrecha con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas.



María Concepción Martínez Rodríguez es Doctora en Política Pública por el ITESM y profesora investigadora del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD) del Instituto Politécnico Nacional. Sus líneas de investigación son las políticas públicas, gobernanza, gestión ambiental y desarrollo sustentable.



Dulce María Monroy Becerril es Maestra en Relaciones Interinstitucionales y profesora investigadora de la ESCA Unidad Santo Tomás del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Sus líneas de investigación son la competitividad y responsabilidad social, y competitividad industrial y empresarial.



Dimensions



[DOI.ORG/10.52501/CC.077](https://doi.org/10.52501/CC.077)



COMUNICACIÓN

CIENTÍFICA PUBLICACIONES
ARBITRADAS

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

ISBN-13: 978-607-59351-9-5



9 786075 935195