

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)





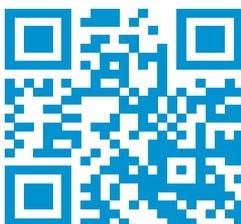
**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA** PUBLICACIONES
ARBITRADAS
HUMANIDADES, SOCIALES Y CIENCIAS



**COLECCIÓN
CIENCIA e
INVESTIGACIÓN**

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

Abierto en



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

www.comunicacion-cientifica.com

Ediciones Comunicación Científica se especializa en la publicación de conocimiento científico 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, comités y ética editorial, acceso abierto, medición del impacto de la publicación, difusión, distribución impresa y digital, transparencia editorial e indexación internacional.

Innovación y Gobernanza para el desarrollo sustentable en México

MARÍA CONCEPCIÓN MARTÍNEZ RODRÍGUEZ
DULCE MARÍA MONROY BECERRIL
(COORDINADORAS)



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

Primera edición en Ediciones Comunicación Científica, 2022

Diseño de portada:

Ediciones Comunicación Científica S.A. de C.V., 2022

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 Martínez y 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 Monroy Becerril y María Concepción Martínez Rodríguez</i>	28
III. Regulación ambiental y fomento a las pymes en México, <i>Claudia Ivette Hernández García, Mariana Marcelino Aranda y Alejandro D. Camacho</i>	52
IV. Aplicaciones de la inteligencia artificial en la transición energética, <i>Alma Delia Torres Rivera, Rodrigo Florencio da Silva y 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 socio-ecológicos y técnicos. Un caso de estudio de los hidrocarburos en México, <i>Eugene Haki-zimana, Esteban Martínez Díaz y Cristina Garibay Bagnis</i> ..	113

Introducción

El propósito de este libro es estudiar y analizar la manera como se puede dar la innovación y 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 aquí presentada.

En el capítulo uno donde damos diferentes aspectos de cómo se forma la gobernanza verde, donde damos a conocer la necesidad que tienen los gobiernos de buscar aliados en sus tareas y sobre todo en la parte ambiental para resolver con los diferentes problemas que se están generando y poder avanzar en los convenios internacionales, tanto en la agenda del cambio climático como en el cumplimiento de los Objetivos de desarrollo sostenible, es así que se dan a conocer las diferentes estrategias tanto para el gobierno, las empresas como la sociedad civil. Desde una 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 nuestro capítulo dos tocamos 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” donde el sexto objetivo relacionado con el agua limpia y 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, 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 residuales y las evaluaciones de impacto ambiental.

En nuestro tercer capítulo sobre la regulación ambiental y el fomento a las pymes en México, explicamos con las pymes en México aportan el 52% del PIB y generan alrededor del 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 del trabajo es conocer las políticas públicas, los apoyos y la normatividad en materia ambiental relacionada con las pymes. Desde los años ochenta 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 financiamiento. 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.

En nuestro capítulo cuatro tenemos a la “Aplicaciones de la inteligencia artificial en la transición energética”, el objetivo de este estudio es describir el conjunto de aplicaciones de la Inteligencia Artificial en la transición hacia el uso de la energía con sistemas más inclusivo y sostenible. 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 su selección y 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: optimización de redes inteligentes, optimización de servicios confiables de suministro de energía y tendencias del análisis para el control en la transición energética.

En nuestro quinto capítulo nos hacemos la siguiente pregunta 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 consecución de acciones para limitar esos fenómenos es una demanda creciente a nivel global, lo que ha llevado hacia el 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 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 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 electricidad. Se estima que las empresas del sector energético son fuentes de dichas emisiones con dos terceras partes del global industrial, a lo largo del capítulo damos la información suficiente para que el lector de respuesta a la pregunta inicial.

Para el cierre de nuestro trabajo tenemos el capítulo seis sobre la gestión de recursos ecológicos, sociales, técnicos. La gestión de los recursos so-

cio-ecológicos y técnicos es un sistema complejo y este afecta el proceso de la toma de decisiones adecuadas para la sustentabilidad. Este 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 a estos recursos. El presente capítulo estudia los hidrocarburos como recursos socio-ecológicos, como se convierten en un problema socio-ecológico complejo, como 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. Utiliza el contexto y método del marco-teórico de los Sistemas Socio-ecológicos según E. Ostrom para el análisis de la complejidad en estos recursos, y el capítulo está dividido en: *i)* recursos socio-ecológicos y su contexto en los hidrocarburos en México, *ii)* sistema socio-ecológicos de los recursos, *iii)* sistema de recursos socio-ecológicos de los hidrocarburos, *iv)* desarrollo técnico en los hidrocarburos como sistema de los recursos Socio-ecológicos, *v)* innovación para la sustentabilidad de los recursos hidrocarburos en México.

El libro forma parte de una serie de trabajos que se están realizando sobre el tema ambiental, sustentable, desarrollo y de gobernanza, son estudios desde un enfoque práctico hasta casos de estudios, los cuales 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 cuente con los conocimientos que le ayuden al acervo y aplicación de sus conocimientos al 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 consiente que para lograr un desarrollo sustentable en la toma de decisiones se deben 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 empresas llevan a diferentes 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 del gobierno, sociedad y empresas, realizando una serie de acciones en donde las políticas sean de abajo hacia arriba, las empresas participan y la sociedad de cierta forma vigila que se cumpla, independientemente de que el gobierno supervisa, pero puede contar con la ayuda de la sociedad creando canales para que la sociedad opine sobre el

* 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 Profesora-investigadora en el Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD), del Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3094-5411>

² Profesor-investigador de la Universidad Autónoma de Baja California (campus Tijuana). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3415-9357>

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

cumplimiento o incumplimiento de las acciones puestas 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”, una gobernanza ambiental que tiene un mayor efecto positivo, y que no solo se limita a prácticas de regulación gubernamental.

Un emprendimiento verde que se ha dado es utilizar las redes sociales para medir las demandas públicas de protección ambiental y sostiene 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, el lanzamiento de productos ecológicos, estas iniciativas promueven la transformación del desarrollo verde. En el presente trabajo esbozamos algunas acciones que ayudan a tener una gobernanza verde, desde los diferentes sectores, como seguimiento o como ideas a 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 las sociedades primitiva, agrícola e industrial. Cada etapa del desarrollo humano está íntimamente relacionada con la naturaleza. Después de entrar en el período de la civilización industrial, la humanidad gradualmente formó una men-

talidad maestra egocéntrica y cambió la naturaleza a voluntad, intensificando así el conflicto entre la humanidad y la capacidad de carga ambiental. Los problemas ambientales, como el calentamiento global, la escasez de los 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 el estado de la humanidad en la naturaleza y la relación entre el desarrollo económico y el medio ambiente (Li, Xu y Zheng, 2018).

Estudios previos como los límites de crecimiento, el club de Roma, las reuniones de las Naciones Unidas con el informe Brundtland 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 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, 195 representantes llegaron a un acuerdo histórico en París, Francia. A través del Acuerdo de París, los humanos reconocieron que la ecología natural podría ser devastada y se debería percibir 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 las partes interesadas. 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 estos y los problemas ambientales y equilibrar los intereses económicos y la responsabilidad social, todos aportan desde sus diferentes visiones y esto enriquece los procesos, lo que 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 gobernanza verde,

la estructura de gobernanza adecuada y el mecanismo de gobernanza pueden restringir el comportamiento egoísta de los seres humanos y proporcionar posibles 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 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, sociedad, empresas, la característica 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 a las empresas altamente contaminantes, “de abajo hacia arriba” a través de canales de supervisión de la iniciativa y 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, algunos mencionan que es una colección de obligaciones esperadas por la sociedad, otros mencionan que es una obligación social realizada por las empresas para satisfacer las necesidades de moralidad y ética. No importa si no hay un acuerdo respecto a 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 Objetivos de Desarrollo Sostenible 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 la participación del cre-

cimiento sostenible; 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, es como una regulación ambiental “ascendente”, 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 que 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, implementación y evaluación de esta regulación.

La participación de la regulación no pública en la iniciativa es fundamental para que se alcance el objetivo común de 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 y sostienen 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 el estado inmaduro, ya que esta depende en gran medida de la ciudadanía y que tanto está interesada en participar en los asuntos públicos y en los asuntos ambientales. Un número cada vez mayor de académicos confía en el poder de gobernanza de las organizaciones no gubernamentales ambientales para la medición, entre ellos, la creación del Índice de Divulgación de Información sobre la Contaminación, un enfoque bien aceptado para medir las prácticas de regulación ambiental no pública, para ello se requiere grupos sociales preparados en el tema, una mayor conciencia sobre la participación social, aspectos que en México estaríamos desarrollando en un 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 no 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 sus componentes importantes como mecanismos verdes incorporados a la gobernanza ambiental.

El intercambio de conocimientos entre lo público, 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 aumentar la inversión de capital en tecnología avanzada, equipos y productos innovadores, pero hace que perduren las grandes empresas y cierren las pequeñas empresas que no tienen para la inversión solicitada para el cumplimiento de la regulación. Esta situación promueve la transformación del desarrollo verde y 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 de ir acompañada de instrumentos de política pública diversificados que incentiven a las grandes, medianas y pequeñas empresas.

La literatura existente ha enfatizado el papel de la RSE en la mejora del medio ambiente, sin embargo, hay omisiones críticas tanto en las áreas teóricas como 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 estudios se han centrado en el 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 en un futuro extender la investigación. La evidencia empírica de la relación mencionada podría ejercer más 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 iniciativa 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 dentro de la gobernanza ambiental tenemos la RSE, las innovaciones verdes, inversión en investigación y desarrollo; por parte de la sociedad la supervisión por varios medios entre ellos las redes sociales, ahora veamos que iniciativas a 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 imple-

mentar las compras verdes impulsa el compromiso a nivel internacional de la reducción de los gases de efecto invernadero, y a nivel nacional influye fuertemente en las estrategias y comportamiento de los sectores privados y las organizaciones empujándolos hacia 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, que 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 hacia 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, este no solo el diseño y construcción de edificios sostenibles y ecológicos, sino también se han aplicado a lo que son 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 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 cumpliendo 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 y que debe adoptar el gobierno.

Para la implementación de lo anterior se tiene que resolver ciertos problemas que incluyen la escasez de datos, la falta de experiencia en técnicas

de costos de ciclo de vida, 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 por la escasez de datos, la recopilación de datos inconsistentes y la colaboración insuficiente entre las partes interesadas (costos de ciclo de vida).

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

El futuro se va a caracterizar porque 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 tomaran, 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 se contribuyen también 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 a 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 es guiada principalmente por la voluntad y los propósitos sociales.

Cuando una sociedad está consciente de que son espacios vitales las áreas verdes, estamos cambiando la mentalidad de la sociedad con respecto a la urbanización, esto 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 en los documentos del plan y ralentiza el proceso de implementación. La orientación de la planificación es fuertemente de arriba hacia abajo, no hay gobernanza. 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, 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, el público y la naturaleza es necesario. 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 modo de innovación propician el desarrollo de lineamientos de gobernanza verde que sean adecuados para la capacidad de carga ambiental de sus propios países o regiones. Las empresas podrían usar el marco sugerido para desarrollar 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 la sociedad económica. En los últimos años, con la mejora continua de la globalización, el desarrollo global 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 tecnología 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 además 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 y realiza una transformación sostenible.

Otra de las iniciativas que tiene 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 propuesto diferentes opiniones, por ejemplo, la OCDE define la ecoinnovación como “dichos 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 para 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 nacional que inspira a la implementación de la gobernanza verde para lograr un desarrollo sostenible, para el 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 desarrollo, la ecoinnovación; 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, 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 respon-

sabilidades de varios sujetos. Como resultado, la práctica actual de la gobernanza verde a menudo se limita a la producción verde espontánea, la gestión verde, la cadena de suministro verde y la administración verde. La gobernanza verde basada en la innovación abierta es romper los límites organizacionales, coordinar la relación entre múltiples gobiernos, múltiples sujetos de gobierno, construir el mecanismo sinérgico basado en la confianza y el contrato, el modo de gobernanza de la innovación abierta para lograr el objetivo del desarrollo sostenible de los seres humanos y la naturaleza, y 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 la 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 acuerdos.

Con relación a lo verde, 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 aún más 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, desarrollo coordinado, desarrollo verde, desarrollo abierto y desarrollo compartido, y establece el nuevo concepto de desarrollo de innovación, coordinación, verde, abierto y compartir.

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, participar activamente en la construcción de la civi-

lización ecológica y desempeñar el papel principal en la prevención de la contaminación, la conservación de los recursos y la protección ecológica”. Las empresas que existen bajo el modo de desarrollo extensivo están bajo 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 evolucionaron 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 empresas que cotizan en bolsa en China (Li, Li y Zhang, 2020). Sin embargo, las pequeñas y medianas empresas (pyme) son reconocidas como un motor del desarrollo económico sostenible tanto en el mundo desarrollado como 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 y obligación de toda la sociedad. El desarrollo de empresas privadas se basa en la coordinación del desarrollo económico y el desarrollo ecológico, y tiene que satisfacer las necesidades ecológicas básicas de las personas y promover el desarrollo coordinado de los seres humanos y 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, mantener 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 desarrollar mecanismos y herramientas de gestión tendientes al mantenimiento, restauración o reposición tecnológica del capital natural (Gladun, 2021).

Conclusiones

La gobernanza verde se propone para 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 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 requerimos estrategias y pautas de divulgación de información verde, innovaciones, políticas, avances.

Dentro del sector empresarial el 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. <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. <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. <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 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, 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

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

¹ Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD), del Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0961-4696>

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

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

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 saneamiento, y 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, México 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, México 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 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 en México debido a la industrialización y 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, los ríos Santiago y Conchos se encuentran entre las fuentes de agua más importantes del país, pero 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 esta 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 cuencas 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 tiene 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, en el río se cuentan 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 los estados de 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 esta. Este conjunto de actores participantes se ha concretado en el gobierno, las empresas y la sociedad civil (Albareda *et al.*, 2009). De acuerdo con Gaete Quezada (2008), la responsabilidad social es fundamental para afrontar los problemas y 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 de libro se relaciona con la temática del libro en el que está incrustado, por estar relacionado con la innovación, la gobernanza y el desarrollo sustentable. Esto debido al enfoque innovador, utilizando 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 enfatizan 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 y porque 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 en 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, que fue desarrollado por un grupo de 29 autores, para proporcionar una forma científica y sistemática de utilizar fuentes tanto cualitativas como cuantitativas para llegar a 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 debilidades de las fuentes que están utilizando. Esta investigación utiliza 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 otros. 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 México.

Para el análisis de la RSP, se enfatizó en los aspectos ambientales en la rendición de cuentas en el marco de la RSP, de acuerdo con Cueto Cedillo y de la Cuesta González (2021). Se hizo de esta forma por considerarse lo idóneo, considerando las características de esta investigación, para los tres cuerpos de agua analizados.

Resultados

La implementación de las técnicas para la identificación, selección, evaluación de la autenticidad y relevancia de los trabajos de investigación se redujo a 56 fuentes. Sin embargo 10 de estas fueron excluidas de la investigación porque no contenían información relevante para los temas tratados en la presente investigación. Además, 11 documentos más fueron excluidos de la investigación por no cumplir con la lista de verificación PRISMA. El trabajo de investigación utilizó 35 fuentes. Estas fuentes consistieron en informes técnicos gubernamentales, trabajos de investigación, capítulos de libros y sitios web. Estos a su vez se complementaron con 7 documentos más para enriquecer la sección de 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 efectuado, es de gran preocupación el tema de la contaminación de los cuerpos de agua, y 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 del agua. Esto ocasiona un deterioro ambiental he indica que no se están 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, que es 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 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 (Kurttio *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 el 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 y según Loaiza *et al.* (2021) en México las lluvias caen de julio a noviembre debido a su proximidad a los trópicos y la temperatura promedio del agua es de 29 °C, que es más alta que la temperatura promedio en los otros cuerpos de agua tropicales (Loaiza *et al.*, 2021). Las altas tasas de precipitación entre julio y octubre conducen a 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, el procesamiento de inundaciones y la escorrentía (Loaiza *et al.*, 2021). A medida que se produzca el cambio climático y 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, debido al calentamiento global, las granjas están utilizando más agroquímicos para aumentar el 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 tener una DQO alta en la presa Adolfo López Mateos demuestra 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 del reservorio y provocan la muerte de la vida acuática porque no tienen suficiente oxígeno para su propio uso. Además, tener una DQO alta muestra que los niveles de químicos en la presa hacen que su agua no sea apta para el 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 esorrentía agrícola, por lo que no se han encontrado residuos orgánicos domésticos o 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 señala 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 de México (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 visitan la presa (Loaiza *et al.*, 2021). Además, la materia orgánica que ha afectado la turbidez del comedor proviene de las aguas residuales de los pueblos y 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 de *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 Adolfo López Mateos, 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 UNT (unidad de turbidez nefelométrica), 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 (2017) describe que la turbidez del agua potable debe ser inferior a 5 UNT e idealmente inferior a 1 UNT.

La alta turbidez en la Presa Adolfo López Mateos muestra 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 muestra 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 muni-

cipios 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 entre 2 y 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 problemas 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 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 solo se pueden llevar a cabo sin contacto con el agua y el agua requiere tratamiento antes de ser utilizada en industrias y solo 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 de Sustancias Tóxicas, una encuesta de 100 hogares ubicados cerca de las cataratas con un tamaño de muestra de 166 niños de entre 6 y 14 años que residen en el área mostró que el 39% de los niños había padecido alguna enfermedad, con 49.23% padeciendo enfermedades respiratorias, 44.61% infecciones de garganta, 4.61% problemas de piel y 1.5% otras enfermedades siendo los principales síntomas conjuntivitis, erupciones cutáneas, irritación de garganta, náuseas y dolores de cabeza (Agencia para 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 causados por la presencia de grasa y aceite, los altos niveles de amoníaco y fosfatos, las altas concentraciones de zinc y plomo y los niveles inaceptables 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 el 36.5% proviene de la industria química y farmacéutica, el 15% de la industria alimenticia y la industria textil, papelera y tequilera vierten el 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 donde 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 Toluca 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 ha aumentado la contaminación del agua en el país. Según Rubio Arias *et al.* (2010), el río Conchos, uno de los principales afluentes del río Bravo: un río importante en la parte norte de México, la contaminación del río en la región es causada por el crecimiento de los sectores industrial, agrícola y forestal en el estado de Chihuahua (CRC para Ciudades Sensibles al Agua, 2017).

En el estudio realizado en el río Conchos por Rubio-Arias *et al.* (2010), las muestras de agua 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 el estudio, 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 lí-

mite recomendado de $0.15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (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 $0.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Scott *et al.*, 2000). Además, la mayor concentración de hierro se presentó en los sitios 5, 6 y 6 donde los niveles 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 ufc [unidad formadora de colonias]/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 el 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 agua 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, 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 precipitaciones 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) señala que el alto contenido de nitrógeno en el río puede causar metahemoglobinemia y aborto en ganado como el vacuno. En los 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 como fuente de 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 movi-

miento 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 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). Además, el cambio climático ha jugado un papel crítico 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). Asimismo, 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). Esto ha provocado la muerte de peces en el río y ha hecho que el agua no sea apta para el 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 mandato 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 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, 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 adecuado presupuesto. Además, los municipios deben tratar todos los lodos de acuerdo con las normas 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 de las granjas 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 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 unos 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 planta 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 ocasionan que no se sancione este tipo de contaminación que 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, que se encuentran entre 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 solo se contamina con materia orgánica porque el gobierno mexicano ha implementado me-

didadas para garantizar que ningún municipio, industria o granja vierta sus desechos en la presa. Los gobiernos estatales y locales mexicanos deben seguir las recomendaciones para aliviar la contaminación en las fuentes de agua en México.

Se requiere más investigación para mostrar cómo el gobierno mexicano puede usar tecnología como las imágenes satelitales para monitorear la contaminación en el país. En México, 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, 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 estos no sean un factor determinante en la aniquilación de la flora y 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 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 que 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 en 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 Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). (2014, octubre). *Resumen de salud pública: Ácido sulfhídrico* [Archivo PDF]. Autor. 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. 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. http://biblioteca.diputados.gob.mx/janium/bv/cedrssa/lxii/diag_limpes_prinemb_sin.pdf
- Bern, C. R., Holmberg, M. J. y Kisfalusi, 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. <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. <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. https://watersensitivecities.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. <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. <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. <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]. 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. [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. <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. <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. <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). 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. <https://doi.org/10.1016/j.jafrsci.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. [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 concentrations in well water and risk of bladder and kidney cancer in Finland. *Environmental Health Perspectives*, 107(9), 705-710. <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. <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. <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. <https://doi.org/10.22201/igeof.0016>
- Marx, J. (2003). Possible role for environmental copper in Alzheimer's disease. *Science*, 301(5635), 905. <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. <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. <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. <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. <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. <https://doi.org/10.3390/environments6010007>
- Roșca, 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. <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. <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. <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 Ob-

- jetivos del Desarrollo Sostenible. *Jurídicas CUC*, 17(1), 211-252. <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 production 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. <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. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n17/a20v41n17p02.pdf>
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2022, abril 14). *Integrated Risk Information System*. EPA. <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. <http://dx.doi.org/10.22201/ij.24485306e.2021.2.15337>
- Vargas, M. (Coorda.) (2021). *Transnational corporations and free trade in Mexico caravan on the social and environmental impacts* [Archivo PDF]. TNI. 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. <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. <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. <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. <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 el 52% del PIB y generan alrededor del 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 del trabajo es conocer las políticas públicas, los apoyos y la normatividad en materia ambiental relacionada con las pymes. Desde los años 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 financiamiento. Para atender las necesidades de las pymes, el Estado debe

* 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 Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB), del Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0521-6962>

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

³ Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB), del Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4791-1912>

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 los años 70, 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 solo 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 el 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 el 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 al 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), Organización Mundial de Comercio (OMC), Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), Organización Mundial de la Salud (OMS), Banco Mundial, Fondo Monetario Internacional (FMI), Organización Internacional del Trabajo (OIT), por mencionar algunos y está presente en los diferentes Acuerdos de Libre Comercio que establecen las naciones.

Sin embargo, la adición de conceptos económicos que contemplan la variable ambiental no ha sido la solución ni 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 que con avances muy limitados.

Bajo este contexto resulta necesario analizar el papel que juegan las diversas industrias, no solo 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 15ª economía del mundo y la 4ª 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 1 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 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 solo 2 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 el 70% del empleo formal.

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

De acuerdo a resultados de la Encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (ENAPROCE) realizada en el 2019, y a 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 cuáles no compiten empresas de gran envergadura, sin embargo, éstas 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 dentro de un 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 del 90% de los mexicanos y su forma de operar es determinante no solo 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 en los ecosistemas de nuestro país.

Por lo tanto, si más del 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 que 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,

solo 6 estados aportan el 53% del volumen agrícola (Michoacán, Jalisco, Sinaloa, Veracruz, Chihuahua y Sonora) (Sarukhan, 2008), y solo 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 sureste del país siendo rica en ecosistemas exuberantes y altamente diversos son poco propicios 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 tanto 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 también son al mismo tiempo 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 son vertidos al ambiente sin ningún tipo de tratamiento; además está el problema de los residuos generados a causa 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 las situaciones desfavorables de la economía nacional, por lo que muchos emprendedores y empresarios no ven ni 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 a vencer para consolidarse y lograr crecer en éste mundo globalizado (BM, 2020).

Pocos empresarios entienden que el fracaso de sus negocios está vinculado no solo 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, en su mayoría proviene de estudios particulares o de organizaciones internacionales de comercio.

Datos del último censo económico del 2019 desarrollado por el INEGI indican que el 66% de las pymes, ha implementado alguna medida de sostenibilidad, sin embargo, el 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 en favor del ambiente, el 68% ha implementado programas para la reducción de plástico, papel y residuos, reciclaje, prevención de la contaminación y adopción de fuentes de energía limpias (como por ejemplo cambio de focos incandescentes por lámparas ahorradoras y Led) y 39 % ha apostado a 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 el 2 y el 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 Intergubernamental 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 con temas ambientales, por lo que sus opciones de compra están enfocadas a productos sostenibles, lo que abre una ventana de oportunidad para las pymes.

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

corporar medidas en 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 solo al constante cambio de la demanda de los consumidores y de la tecnología, sino que 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, en general las pymes 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 80 cuando comenzó a considerarse el efecto negativo que produce el desarrollo económico sobre el ambiente y a partir de ese momento 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, donde el Estado comenzó a establecer políticas de industrialización sustitutivas de importaciones, que afectaron el funcionamiento de las empresas.

Fue en esa época que 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. Ésta 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, pasando de tener representatividad en 28 ramas industriales en 1982 a solo 12 para 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 su mandato se fomentó la apertura sin freno de la actividad comercial; la flexibilidad laboral que propicio 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 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 éste tratado en desigualdad de circunstancias, pues con una economía 6 veces menor que la de Canadá y 8 veces menor que la de Estados Unidos cedió su autonomía alimentaria al importar los principales granos de subsistencia.

Para 1994, México se encontraba viviendo una profunda crisis económica, la balanza de pagos presentaba un elevado déficit y las exigencias de los acreedores del país eran constantes (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 desde el sexenio de Miguel De la Madrid, Carlos Salinas, Ernesto Zedillo, Vicente Fox, Felipe Calderón y Enrique Peña Nieto, quienes implementaron en el modelo económico neoliberal en México, fomentando la inversión extranjera y el libre comercio, 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 los años noventa 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 treinta y seis años.

Es bajo este contexto que se articula la actual política pública que sustenta la realidad de las pymes, donde a lo largo de los últimos años se han implementado diversos programas de apoyo, los cuales se orientan al financiamiento, información, consultoría y 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; donde se establece la rectoría del Estado en el desarrollo nacional y la obligación del

Estado de establecer un sistema de planeación democrática para el desarrollo nacional respectivamente.

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 a 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 estos programas se ve reflejada en los recursos que se asignan a diversas secretarías de estado para poder llegar a los mexicanos que así lo 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 micro créditos) 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 dichos programas intervienen 12 secretarías de Estado, a través de 131 programas gubernamentales, coordinados a través de 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 las nuevas políticas del gobierno entrante.

En la actualidad se cuenta con programas como “Crecamos Juntos” que ofrece el Instituto Nacional del Emprendedor (INADEM) con 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 emplear a los más desfavorecidos en zonas rurales y

combatir el cambio climático a través de la reforestación, otorgando a cada participante \$5 500.00 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”, generando afectaciones a diferentes niveles en 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:

- Apoyo solidario a la palabra.
- Crédito a la palabra.
- Programa mercado solidario.
- Programa de apoyo a fondo perdido.

Según datos de la secretaria de Economía (2022), se otorgaron un millón de microcréditos en cada uno de los programas antes mencionados.

Finalmente, en el rubro de políticas y asistencia a las pymes el Estado también considera la creación e 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, de no hacerlo, las empresas harían uso de los recursos sin considerar los impactos ambientales causados, ya sea por sus métodos extractivos, productivos o de mercado.

Toda producción de bienes y servicios involucra externalidades negativas (generación de emisiones contaminantes) que no son tomadas en cuenta por los productores y que solo pueden ser controlados 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 párrafo primero y sexto donde se establece respectivamente 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 en 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 a 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*

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

TABLA 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) (tabla 2), con lo cual no solo pretende contribuir con 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 obliga asumir compromisos que se ven reflejados en la normatividad ambiental de

TABLA 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 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 (ONUUDI)
	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)

Sustancias químicas	<p>Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación</p> <p>Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (Convenio de Estocolmo)</p> <p>Convenio de Róterdam sobre el Consentimiento Fundamentado Previo Aplicable a Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto de Comercio Internacional</p> <p>Indicadores - Convenios de Basilea, Estocolmo y Róterdam (Indicadores de seguimiento Agenda Gris)</p> <p>Foro Intergubernamental sobre Seguridad Química (FISQ)</p> <p>Organización para la Prohibición de Armas Químicas (OPAQ)</p> <p>Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Subdivisión de Sustancias Químicas</p> <p>Enfoque estratégico para la gestión de productos químicos a nivel internacional (SAICM)</p>
---------------------	---

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

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, para la década de los 90’, se reformó el marco normativo, para adecuarse a la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, surgiendo así 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 redujo considerablemente el número de normas e hizo más sencillo el 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 participación de la academia y del

propio sector industrial; 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 (tabla 3).

TABLA 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, éstos 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 del 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).

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 sea 100% deducibles, así mismo, la Ley Federal de Derechos establece la exención en el pago de los mismos por el análisis, evaluación y expedición de permisos para la generación de energía eléctrica a través de energías renovables. En este punto continua la discusión sobre la exclusividad para la Comisión Federal de Electricidad para la generación y comercialización de energía.

También existen programas de ámbito local, tal es el caso, de los programas que operan en la Ciudad de México; el primero, referente a la reducción del pago de impuesto 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 o manejo de residuos, el segundo, que ofrece una reducción en el pago del impuesto predial para las empresas industriales o de servicios que adquieran, instalen y operen con tecnología o equipos minimicen sus emisiones contaminantes.

Incluso operan programas de carácter internacional, ejemplo de esto, son los certificados de reducción de emisiones que pueden obtener las pymes de países pertenecientes al Anexo 1 del Protocolo de Kioto 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, 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 permita ser evaluadas por parte de las calificadoras bursátiles internacionales que ya han incorporan diversos índices de desempeño ambiental (ASG), entre los indicadores importantes que miden el desempeño ASG podemos mencionar: el Dow Jones Sustainability Indexes, el Nasdaq OMX, FTSE 4Good y 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; es la Secretaría de Economía la encargada de implementar y promover dichos programas, aunque también existe la colaboración de otras secretarías de estado y programas de ámbito estatal.

En la actualidad algunos de los programas más importantes que operan son el Fondo pyme, Programa Nacional de Financiamiento al Microempresario (PRONAFIM) y 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 el 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 las empresas se ajustan por iniciativa a sistemas de gestión de calidad como lo son las Normas MX, Normas ISO y las certificaciones voluntarias gubernamentales que en su 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 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, 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, que está 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 mejorar el comportamiento ambiental y las oportunidades de beneficio económico.

Existen también certificaciones de carácter internacional que pueden generar beneficios a las empresas que la 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 (tabla 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 en todo el mundo para obtener beneficios económicos derivados de la eficiencia energética y obtener 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 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 tales empresas participar en los procesos de globalización (Gómez, 2005) y por otra parte por la falta de oportunidad o acceso restringido para acceder a los diversos programas gubernamentales.

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

Sin duda, existen una gran variedad de mecanismos impulsores del

TABLA 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 EPD 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 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 N 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.

desarrollo económico pyme, sin embargo, muchos de éstos requieren de 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 reflexionar en 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 y 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 propias 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 promuevan 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 logren cumplir los compromisos adquiridos en la agenda 2030.

El reconocimiento de que las actuales políticas de gestión ambiental no han sido del todo eficientes, debe llevar a la reflexión sobre si existe la voluntad política para implementar y hacer cumplir la normatividad ambiental. Por otro lado está el 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, en medidas 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 desde diversos aspectos que van desde implementar instrumentos más eficientes de gestión ambiental (como el Programa de Gestión Ambiental Rentable), como buscar otros mecanismos de sensibilización a los consumidores y 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 eco-etiquetados, así como políticas de comercio justo y economía circular, también son estrategias para lograr productos menos contaminantes y con más aceptación en el mercado.

Sera importante para el éxito y sustentabilidad de las pymes que al mismo tiempo que se apliquen los instrumentos descritos anteriormente, se trabaje en incorporar a la pequeña y mediana empresa a 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*. <https://www.worldbank.org/commodities>
- Banco Mundial. (2022). <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*. <https://www.inegi.org.mx/programas/cnge/2021/>
- INEGI (2022). *Estadística*. <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*. 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., 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.

- OECD (2020). *Mexico policy brief, improving business environment and investment* (pp. 64-84). OECD.
- Peláez, B. (2021, noviembre 18). *La mayoría de las pymes en México destina entre 2 y 10% de su inversión en sostenibilidad empresarial*. Capterra. <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).
- Sarukhan, 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*. <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 RAMÍREZ 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 inclusivo y sostenible. 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 su selección y 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: optimización 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 Unidad Profesional Interdisciplinaria de Energía y Movilidad (UPIEM) y Escuela Superior de Comercio y Administración (unidad Santo Tomás), ambas del Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0924-041X>

² Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (Ticomán), del Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9644-7645>

³ Escuela Superior de Comercio y Administración (unidad Santo Tomás), del Instituto Politécnico Nacional. 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, la justicia, la riqueza, aumentar la eficiencia y 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 la prevención 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 el internet y como resultado la aplicación en múltiples sectores como es la agricultura, transporte, educación, salud entre otros.

En este contexto la IA tiene una gran participación en la 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 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, reducción y 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, distribución y 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 en reconfiguración de los mercados, 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 efecto invernadero (Sayed-Mouchaweh, 2020).

La eficiencia energética como 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, estabilidad, eficiencia y seguridad de la red.

Un problema central para el sector energético es la reducción de la intermitencia de las energías renovables derivada por 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 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 refleja 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, esto significa que en el proceso de la TE requiere enfrentar múltiples retos como: estabilizar la red con el uso de las de energías renovables, aumentar la participación activa de los usuarios para optimizar su consumo energético, uso máximo de energía renovable durante los períodos de máxima demanda o carga. Es así como en el marco de las tendencias se abren nuevas oportunidades, pero, al mismo tiempo representan 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 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, los enfoques de

predicción y optimización basados en inteligencia artificial ya se están utilizando de forma emergente basados en técnicas como el aprendizaje automático, los sistemas multi agente y 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 inclusivo y sostenible.

Método de investigación

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

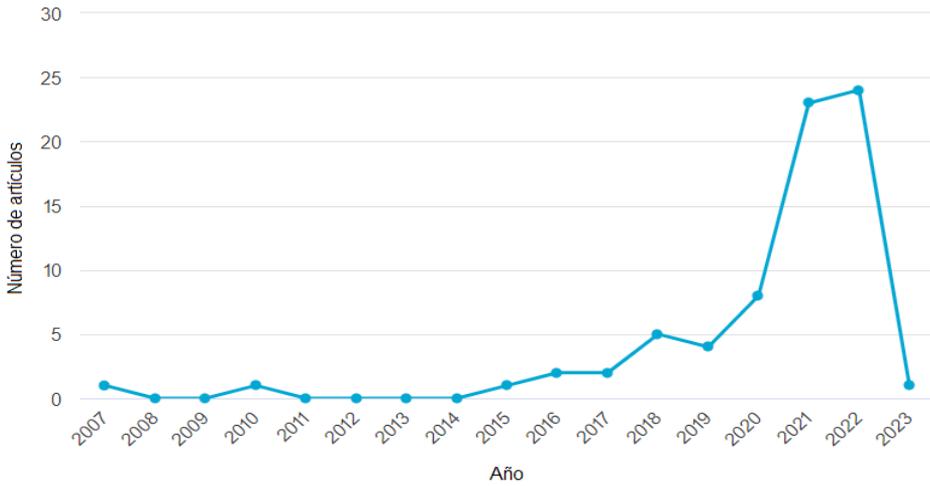
En la selección de los artículos se recurrió a la identificación de la evolución de las publicaciones como se muestra en la figura 1, posteriormente se establecen los países que liderean la investigación en el campo de la IA aplicada en el sector energético (Véase figura 2), de aquí destacan China y Alemania.

En la localización de los artículos se empleó 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 seleccionado se empleó el gestor de referencias Mendeley como herramienta para evitar artículos duplicados, después se clasificaron y con técnicas de análisis que se combinan cuantitativamente 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 dentro de un campo de investigación y proporciona una evaluación objetiva del desarrollo del conocimiento sobre un tema (Linnenluecke, 2017; Linnenluecke *et al.*, 2017).

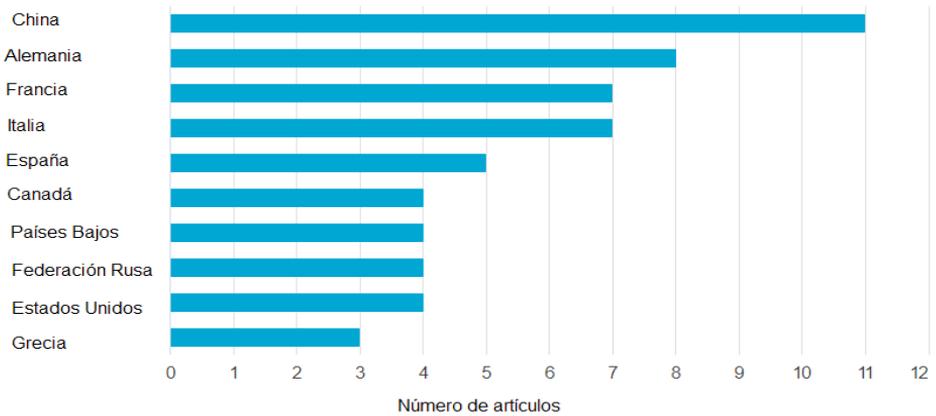
Esta revisión de la literatura surge en el contexto de la transición energética, exigiendo un nuevo examen del vínculo con la sustentabilidad. Este

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 período 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 período 2007-2022 (octubre) por país.

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.

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 período 2007-2022 (octubre) por país.

La figura 3 presenta el mapa de citas, que representa las 24 publicaciones más citadas del conjunto de datos dentro 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 para 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 replicar el proceso de revisión y llegar a las mismas pruebas y conclusiones.

Análisis y discusión de resultados

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 ener-

gético se agrupan en optimización 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 solo 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, generadores de combustible de gas natural, vehículos eléctricos y cargas controlables (Zhao y You, 2020).

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

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

Con la utilización de la IA en el sector energético destacan las aplicaciones en la predicción y/u optimización del consumo o demanda de energía eléctrica, en la minimización de costos y 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 períodos de más alta demanda; y la flexibilidad para garantizar el equilibrio entre la demanda y 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 las técnicas y herramientas de la IA no sólo apoyan la transición energética sino también sol-

ventan 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/u optimizaciones dentro de la transición energética enfrenta varios desafíos. La predicción del consumo de energía 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 solo consumidores para convertirse en productores, conocidos como prosumidores, conduce a aumentar significativamente la capacidad de la red.

Los prosumidores pueden reducir los costos durante los períodos 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 sabiendo 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, confiabilidad, eficiencia y estabilidad de los sistemas energéticos. En este sentido, las técnicas y herramientas de inteligencia artificial apoyan en la predicción (Mohamad *et al.*, 2019; Salem *et al.*, 2016), optimización y detección de fallas (tanto internas como externas (interacciones ambientales no esperadas) durante las operaciones de los sistemas energéticos y 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 control automatizado (Zhang *et al.*, 2020). Otra aplicación en 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, fotovoltaicos y locales. 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 arrojar hasta cierto punto durante un período 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 el consumo total proporcionado por el contador inteligente. Con los resultados del monitoreo los consumidores toman decisiones y adopta comportamiento consumo en función de su perfil o actividad. El monitorio se realiza con base en la adquisición de datos, extracción de características e inferencia 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. Los divide en modelos ba-

sados en eventos y probabilísticos. Los enfoques basados en modelos probabilísticos, en particular los modelos ocultos de Markov (Salem, 2020) se aproxima entorno al tipo de aprendizaje y los criterios utilizados (estable, transitorio y contextual).

Otro ejemplo realizar el diagnóstico y 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 usa para generar conjuntos de datos sobre fallas en componentes críticos para los cuales es difícil obtener suficientes datos. En general los resultados muestran cuatro fallas probadas: desequilibrio causado por una deformación del álabe, 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 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 en la realización del diagnóstico de fallas de los sistemas de conversión tienen amplias aplicaciones, como bombas de energía fotovoltaica o en unidades de desalinización. Estos fallos pueden afectar tanto a su parte mecánica como a su parte eléctrica. Una vez detectada las fallas se procede al aislamiento para indagar el componente que presenta la disfuncionalidad.

La aplicación de las redes neuronales artificiales es 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 las magnitu-

des 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 crucial 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 operación de la red.

Conclusiones

La revisión sistemática de los artículos más influyentes en la investigación sobre la IA y transición energética se han desarrollado en tres áreas de investigación optimización de redes inteligentes, optimización de servicio doméstico y 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 de se aproxima entorno al tipo de aprendizaje y 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, 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 como 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 asociadas 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; regulación, innovaciones, optimización y 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, y por lo

tanto los beneficios que ofrece IA es 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 (APyS)*, (9), 153-180.
- Flores, R. (2012). Incorporando desarrollo sustentable y gobernanza a la gestión y planificación de áreas verdes urbanas. *Frontera Norte*, 24(48). 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.
- Marinakakis, 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 Sloatweg, 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 al incremento al ahorro y 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 a 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 discute sobre la perspectiva energética global, para continuar sobre el tema de responsabilidad corporativa y las políticas públicas. Paso seguido, se analizan 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 a la sustentabilidad ambiental.

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

¹ Profesor-investigador de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (Ticomán). 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 en la naturaleza. La consecución de acciones para limitar esos fenómenos es una demanda creciente a nivel global, lo que ha llevado hacia el 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 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 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 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 la preservación de la naturaleza, se han abordado en algunos trabajos en donde 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 actuar en función de los niveles de acción (Coffin, 2020). También existen trabajos en donde señalan las acciones de dichas compañías en contra del tema ambiental (Influence Map, 2019). En los últimos dos años, algunas de las 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 geopo-

líticas, y su comparación respecto a la posición de Petróleos Mexicanos (Pemex) es el objetivo central de este capítulo. Así, se analiza la relevancia de las empresas petroleras por atender el tema ambiental y las condiciones generales que las llevan a adoptar medidas de responsabilidad social. Paso seguido, se realiza un diagnóstico de cada compañía e identifica sus avances y restricciones, con especial atención a su discurso planeado hacia los años próximos. 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.

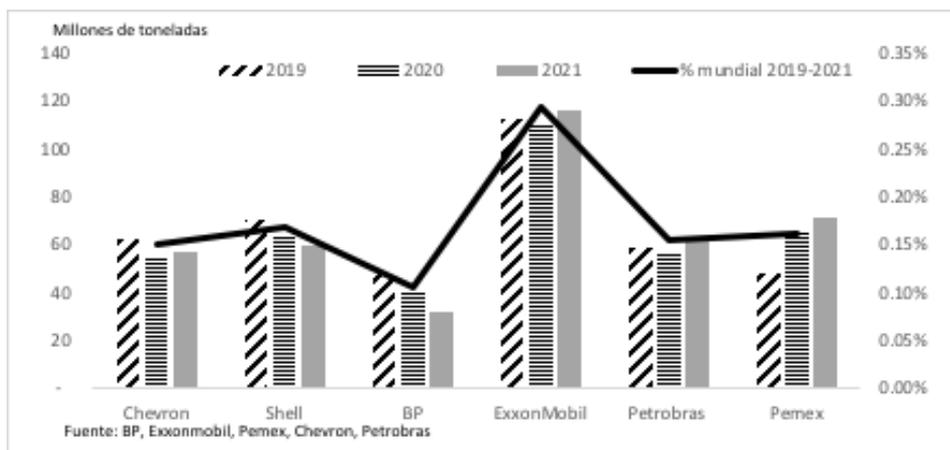
Hacia la consecución de la sustentabilidad por las empresas petroleras

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 en 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 estará en función del perfil de las políticas públicas instrumentadas (BP, 2021; IEA, 2020; EIA, 2021).

Impulsar la eficiencia y el ahorro de la energético es parte de los cambios esperados en aras de mitigar el cambio climático acorde con los lineamientos de los Objetivos del Desarrollo Sustentable promovido 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 a 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, en 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, en donde destacan los niveles de ExxonMobil, 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, relacionada a las emisiones de GEI que se controlan o son propiedad de una organización (por ejemplo, las originadas en sus calderas y vehículos). Las de alcance 2 coligadas 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 concluyen 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; explorar el potencial de negocio de las inversiones en renovables, que no pueden ser ignorados por las petroleras y el adaptar sus modelos de nego-

cio a los cambios en el entorno (Fattouch y Poundineh, 2019). Sin embargo, ello implica retos de creación de 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). Aquí, 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 fusión de varias petroleras, tales como Mobil y Esso, entre otras. Su modelo de negocios se centra 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—, agrupa alrededor del 80% de sus ingresos totales, pero ha instrumentado una estrategia de desinversión en 22 sitios de refinerías desde el año 2000 al 2021, lo cual ha compensado con inversiones en optimización, 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 5 millones de barriles diarios e intereses en 21 refinerías, de las que el 80% está asociada a 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 al 0.5% a nivel global. Es especialista en operaciones en aguas profundas, 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 —vs. relación a la industria petrolera—, pero ha detenido sus niveles de inversión desde la segunda mitad de la década pasada con relación al primer quinquenio.

Ha estado sujeta al escrutinio por sus políticas medioambientalistas. En la década de los ochenta fue líder en la negación 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 o 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 el de 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, apoyo a la biodiversidad y de promoción a la seguridad y salud laboral. Está integrando tecnología de bajas emisiones para tratar de compensar las emisiones de sus nuevas instalaciones, en donde destacan, 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), DJSI (Dow Jones Sustainability Index), el CDP (Carbon Disclosure Project) y el TCFD (Taskforce for climate-related financial disclosures)

Ha incursionado en el tema de tecnologías de energía limpia a través de sus negocios en biocombustibles entre las que destacan la biorrefinería Bakersfield; desperdicios agrícolas y la captura y monitoreo de gases de efecto invernadero, en particular 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. ExxonMobil tiene intereses en aproximadamente 5.4 gigavatios de capacidad de generación de energía en más de 100 instalaciones (ExxonMobil, 2022a).

Ha destinado recursos a la IDT a través de acuerdos con 80 universida-

des y con institutos de investigación, que le permitió acumular cerca de nueve mil patentes a nivel global a finales del 2020 y la obtención de 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; generación de poder y nuevos materiales; la promoción de la eficiencia y 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 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, la captura y almacenamiento de carbono, cogeneración y electrificación con fuentes renovables, el uso del hidrógeno y de biocombustibles. Para ello ha planteado invertir más de 15 mil millones de dólares al 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, 46 mil estaciones de servicio, 12 400 tiendas de conveniencia y 82 mil empleados. Está verticalmente integrada a lo largo de la cadena de valor de la industria petrolera y opera actividades de la petroquímica y generación de potencia. Tiene intereses en 23 refinerías y presencia en el transporte y 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, la ma-

nufactura de crudo sintético, así como en la venta al público de combustibles derivados a través de su red de estaciones de servicio. Durante 2021, sus ingresos procedieron en cerca de 70% de la venta de derivados del petróleo, operaciones con gas natural (20%), explotación de hidrocarburos (3.5%) y el resto fundamentalmente del negocio de 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 (vs la industria petrolera). Al igual que ExxonMobil, sus inversiones de capital se han reducido en comparación a inicios de la década pasada.

Mantiene robusta presencia en Asia Pacífico, Estados Unidos y Latinoamérica y 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 el 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 mil puntos de carga al tiempo que apoya flotas comerciales—. En eólica mantiene una empresa conjunta con Vattenfall en el proyecto NoordzeeWind. Destacan los proyectos de suministro de renovables a Microsoft, 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 alineada a los lineamientos de GRI Standards, DJSI, CDP y el 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, el estudio de biocombustibles avanzados a partir de plantas no comestibles y desechos de cosechas, la 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 permite 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; economía circular en materia de desperdicios y manejo de plásticos, así como en medidas para mejorar la calidad del aire.

Entre los proyectos más relevantes se ubican el producir 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* en la creación de una turbina eólica que cosecha energía a partir del tráfico en carreteras; con *Pavegen* en la conversión de losetas que generan electricidad al caminar; con *Bio-bean* en 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 uso de energía para 2030 a la mitad —de los niveles registrados en 2016—. Hacia el 2050, planea reducir la intensidad de carbón de los productos energéticos vendidos y el logro de las emisiones netas igual a cero. Su estrategia planea acciones para impulsar la disminución de las emisiones, mejoras en la infraestructura e impulsar mejores condiciones para invertir en opciones de bajo carbono (Shell, 2021).

Chevron. Es una petrolera estadounidense, la séptima más importante en el 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 Producción (E&P) de petróleo y gas natural, en la refinación, 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 en prácticamente 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 tratamiento, transporte, almacenamiento y distribución de hidrocarburos, de donde obtuvo más del 70% del total de ingresos en 2021.

Mantiene un bajo apalancamiento en la industria, adecuada liquidez, pero ha enfrentado retos para elevar su rentabilidad sobre capital (ROE) 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 finalizaron 2021 en 11 200 millones de barriles de petróleo crudo equivalente, localizada en más de la mitad también en USA. 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 donde obtiene alrededor del 70% de sus ingresos totales.

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

Chevron contribuyó con alrededor del 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, Golfo de México y las cuencas de Denver-Julesburg y Permian USA, así como en la empresa conjunta que opera en Kazajistán. Ello contempla la disminución de emisiones de metano, captura de carbón y la reducción de derrames. El costo de las emisiones al carbón fue incorporado en 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 elevar la eficiencia de sus activos. Su incursión a 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 planean 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 alineada a los lineamientos del DJSI, CDP y el TCFD, pero no a los del GRI Standards. Ha introducido el tema de análisis de riesgo en materia ambiental a lo largo del ciclo de vida de e involucrado en iniciativas globales para la protección de áreas en materia de biodiversidad, así como su administración y caracterización en ciertas regiones. Evitó el abordar el tema ambiental en años anteriores, para lo cual usaba prácticas de *lobbying* y apoyo a políticos en 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 el 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 mil millones de dólares hasta el 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 operó en 2021 en 65 países y 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 realizó 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 el año 2010, que le significó pago de multas, compensaciones y desinversiones productivas. Este suceso le afectó financieramente, pues sus márgenes netos disminuyeron y se presionó al alza su apalancamiento (*vs.* 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 biomethane*, 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 costa fuera cuenta con proyectos en Reino Unido, Estados Unidos y Alemania. Destaca la asociación con Equinor, en un proyecto de granjas eólicas marinas en Massachusetts, que involucra inversiones de entre 200 y 250 millones de dólares. En contraste, realizó desinversiones en un proyecto de eólica en Texas USA (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 eólica costa fuera y adentro. Desde 2018, opera el negocio de carga de vehículos mediante la adquisición *Chargemaster*, la red más grande de Reino Unido. En 2019, formó una empresa conjunta en China con *Dixi Chixing*. Al cierre del 2021, contaba con 13 100 puntos de carga.

Ha incursionado en las actividades de captura y almacenamiento de carbón y en proyectos relativos al tema de hidrógeno, entre los que destacan 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 hacia la mejora en 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 aguas residuales. El área de materiales (corrosión e incrustaciones)

es atendido en su utilización en refinación y en el transporte de hidrocarburos, apoyado por investigaciones en el Centro Internacional de Materiales Avanzados BP (BP-ICAM) y *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 un 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 alineada a los lineamientos de GRI Standards, DJSI, CDP y el 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, biorrefinerías, biogás, el empleo del hidrógeno y la captura de carbono; transformar su oferta movilidad y conveniencia de servicios, hacer más resiliente su cartera de petróleo, gas y refinación con eficiencia operativa. Las inversiones planeadas ligadas a la transición podrían alcanzar un 40% del Capex en 2025 (BP, 2022). Lo anterior, será acompañado con la integración de sus sistemas de energía en su cadena de valor, ampliar sus vínculos con la sociedad e innovando con enfoque al tema digital e innovando para crear eficiencia y apoyar a 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 la (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 comercialización, el de fertilizantes y ha incursionado en el mercado de la electricidad, generada en mayor parte 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 en el respaldo tecnológico del CENPES, uno de los principales centros de in-

investigación petrolera en 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 a través de sus estaciones de servicio.

Su proceder se ha influenciado por grupos de interés políticos y económico, 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 más nacionalista (gobierno de Lula da Silva).

Los ingresos totales se concentraron en upstream y midstream (90% en 2021). De estos, el 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 y optimizar sus cadenas de distribución, 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 mermado la rentabilidad de la compañía.

El incremento en 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 alto apalancamiento, problemas de liquidez y disminución en sus niveles de rentabilidad. Los problemas financieros han originado, incluso, disminuir su ritmo de inversiones.

En materia de medio ambiente muestra contrastes, pues si bien cumple con los lineamientos de GRI Standards, DJSI, CDP y el TCFD, impulsa la producción de bioetanol y ha logrado disminuir las emisiones GEI en un 21% entre 2015 y 2021, es cuestionada por la contaminación y afectación a la naturaleza originada en años anteriores. Entre los más relevantes se ubican las afectaciones en la región del Amazonas y los derrames de petróleo, tanto asociada a problemas operativos como el 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

le llevó a disminuir entre 2009 y 2021 en las actividades de E&P, bien por la menor quema de gas a la atmósfera, por la captura y almacenaje de carbono, así como por las mejoras operativas.

Cuenta con una planta fotovoltaica, cuatro granjas de energía eólicas y dos hidroeléctricas de pequeña escala, así como en 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 Desenvolvimento Econômico 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 diez compromisos para el periodo 2025-2030, de los cuales seis se relacionan con la mitigación de GEI, mediante la atención de los niveles 1 y 2. Entre estos destacan cero quema de gas al 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 los que destacan 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 comercialización de derivados del petróleo, su transporte, almacenamiento y 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 ante restricciones en el gasto público (Romo, 2016). Ha enfrentado la pérdida de reservas de hidrocarburos, el detrimento de su volumen de producción de crudo desde 2004 y de gas natural desde 2010; bajo nivel de utilización de su infraestructura de refinación desde inicios de la década y de la petroquímica desde los ochenta: problemas para optimizar y evitar pérdidas de combustibles en su in-

fraestructura de transporte; además que se ha enfrentado a la pérdida en su penetración la distribución a través de sus franquicias. Hacia el cierre del 2021 enfrentó una situación financiera compleja caracterizada por presiones de liquidez, elevado apalancamiento, nula rentabilidad —aunque preserva un nivel competitivo de utilidades antes de impuestos—, situación que le originó la degradación en su calificación crediticia a mediados del 2020.

Desde los ochenta, se inició un proceso de pérdida de su poder monopolístico, que se aceleró con la reforma energética de 2013 en una forma de acumulación por desposesión en el país (Merchand, 2015). Aún 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 a 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 a desarrollo de sus actividades, particularmente en la transformación y transporte de hidrocarburos, como al robo de combustibles; no ha aumentado la 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 orientadas a neutralizar problemas operativos y son influidos por intereses de grupos internos y ajenos a la empresa. El tema 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 el número perdido de horas-hombre trabajadas. En ambos ha registrado avances comparativamente con inicios de la década.

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

Pemex se ha alineado 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 en la petroquímica; disminuir las emisiones de GEI para el 2030 (14% en comparación a 2013) e incluye el consumo de combustible y la quema de gas a la atmósfera; mejorar el desempeño energético; mantener sus políticas de conservación y remediación de ecosistema. La base de las acciones anteriores está soportada por mejoras operativas e incorporación y rehabilitación de infraestructura, así como por programas de prevención, monitoreo y control (Pemex, 2022)

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

En los esfuerzos para abatir la contaminación y el deterioro de la naturaleza, las empresas petroleras juegan y jugarán un rol relevante. Por lo anterior,

necesitan adoptar sus estrategias a las condiciones futuras del mercado energético (Fattouh *et al.*, 2019). De sus acciones en los años recientes se puede señalar lo siguiente:

- En general, las petroleras Shell, ExxonMobil, 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 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 han emprendido campañas para incursionar en temas como la transición energética, disminución de emisiones GEI y 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 el 2021, los cuales cobran mayor relevancia ante la crisis energética europea, ante 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 integrar a su consejo de administración miembros en pro del medio ambiente (ExxonMobil), al tiempo que son presionados para adoptar políticas energéticas públicas basadas en bajas emisiones 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 en 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 en favor del medio ambiente y 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 (tabla 1).

- Un factor crítico en los casos analizados son los grados de relevancia que las petroleras asignan a la IDT y los resultados obtenidos. Destacan Shell y ExxonMobil, y en menor medida BP y el propio Petrobras. Como contraste Pemex mantiene una posición pasiva, lo que agudizará su dependencia tecnológica y lo mantendrá rezagado en los temas de transición energética.

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

<i>Concepto</i>	<i>Chevron</i>	<i>Exxon</i>	<i>BP</i>	<i>Shell</i>	<i>Petrobras</i>	<i>Pemex</i>
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, aún a pesar de su discurso en pro del combate a las emisiones GEI. El apetito por mantener sus márgenes de rentabilidad atractivos 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. Ello en un entorno caracterizado por presiones de las políticas públicas pro medioambienta-

les, 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 en 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 el que impera en Pemex, quien centra sus actividades en el negocio de los hidrocarburos. Si bien la consolidación de las estrategias emprendidas

TABLA 2. Indicadores de ExxonMobil, Shell, BP, Chevron, Petrobras y Pemex, 2021
(miles de millones de dólares)

Concepto	ExxonMobil	BP	Chevron	Shell	Petrobras	Pemex
Ventas totales	285.6	157.7	162.5	261.5	84.0	72.7
Utilidad antes 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 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 petróleo (mbd)	2 289	1 951	1 814	1 685	2 253	1 736
Prod. de gas natural (mmpc)	5 426	7 915	7 709	8 687	2 925	3 768
No. 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
Prod. 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 empleado (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.
Rvas a prod. 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.

por el actual gobierno para fortalecer el desempeño de Pemex son el principal reto, también debe considerarse el profundizar la atención hacia los temas reducción de las emisiones GEI, y en particular alentar acciones sobre la transición energética. Ello a fin de atender los compromisos de México en torno a 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, 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. (2022). *Energía*. <https://www.eea.europa.eu/pt/themes/energy/intro>
- BP (2021). *Energy Outlook 2020*.
- BP (2022). *BP update on strategic progress*.
- Chevron. (2021, septiembre 14). *Chevron accelerates lower carbon ambitions*. <https://www.chevron.com/newsroom/2021/Q3/chevron-accelerates-lower-carbon-ambitions>
- Chevron. (2022). *2021 corporate sustainability report*.
- Coffin, M. (2020). *Why oil majors' climate ambitions fall short of Paris limits*. Carbon Tracker Initiative. <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. <https://www.epa.gov/climateleadership/scope-1-and-scope-2-inventory-guidance>
- ExxonMobil. (2022a). *Advancing climate solutions, 2022 progress report*.
- ExxonMobil. (2022b). *ExxonMobil 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. <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 con-*

- tribution 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*. <https://influencemap.org/report/How-Big-Oil-Continues-to-Oppose-the-Paris-Agreement-38212275958aa21196dae3b76220bddc>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102049>
- Li, M., Trencher, G. y Asuka, J. (2022). The clean energy claims of BP, Chevron, ExxonMobil and Shell: A mismatch between discourse, actions and investments. *Plos One*, 17(2) 1-27. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263596>
- Lonney, B. (2022). *Strategy overview*. <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 US*. NS Energy.
- Pemex. (2019). *Plan de negocio, 2019-2023*. Pemex.
- Pemex. (2021). *Plan de negocios, 2021-2025*. Pemex.
- 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). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/237/4/042038>
- Petrobras. (2021). *F-20 annual report*. Petrobras.
- 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, Ladislaw 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' ExxonMobil*. American Enterprise Institute.

VI. Gestión de recursos socio-ecológicos 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 socio-ecológicos y técnicos es un sistema complejo y este afecta el proceso de la toma de decisiones adecuadas para la sustentabilidad. Este 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 a estos recursos. El presente capítulo estudia los hidrocarburos como recursos socio-ecológicos, como se convierten en un problema socio-ecológico complejo, como 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. Utiliza el contexto y método del marco teórico de los sistemas socio-ecológicos según E. Ostrom para el análisis de la complejidad en estos recursos, y el capítulo está dividido en: *i*) recursos socio-ecológicos y su contexto en los hidrocarburos en México, *ii*) sistema socio-ecológicos de los recursos, *iii*) sistema de recursos socio-ecológicos de los hidrocarburos, *iv*) desarrollo técnico en los hidrocarburos como sistema de los recursos Socio-ecológicos, *v*) innovación para la sustentabilidad de los recursos hidrocarburos en México.

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

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

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

Palabras claves: sistema de los recursos socio-ecológicos, gestión de los recursos socio-ecológicos, desarrollo técnico.

Introducción

Este capítulo estudia como la gestión de los recursos socio-ecológico y técnicos es un proceso complejo. Este se observa en recursos hidrocarburos mexicanos que de su sistema evolutivo,⁴ se convirtieron en un sistema de recursos socio-ecológicos que ha impulsado desarrollo de los conocimientos administrativo y técnico remarcable desde la época prehispánica hasta en el tiempo de hoy.

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

⁴ Este sistema se refiere del uso tradicional al 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 socio-ecológicos y su contexto en los hidrocarburos en México

Recursos ecológicos

Para definir los recursos ecológicos, utilizamos la definición de Scott *et al.* (1998), por la cual, los recursos ecológicos son recursos naturales que proporcionan ciertas funciones necesarias de mantenimiento del sistema, pero visibles por alto 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. Este es el ejemplo de los hidrocarburos donde su mal 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 en:

- 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 que son 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 a los recursos no renovables como los hidrocarburos, trata de estudiar los hidrocarburos como recursos socio-ecológicos y como su gestión ha generado desarrollo técnico y de innovación.

Gestión de recursos ecológicos

Introducción

En lo largo del tiempo, la gestión de los recursos ecológicos se ha expresado por los economistas como las actividades y 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, por lo 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 socio-ecológicos, se debe tener precaución de comprometer los recursos necesarios para futuras generaciones. Este es un objetivo de la gestión exitosa de los recursos ecológicos, está centrado en el principio de precaución.

Principio de precaución

Este principio resultó por la primera vez para poner en el contexto de los peligros, las crisis, la degradación y las catástrofes que afectan el medio ambiente o la salud humana hacen dudar de la capacidad de 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 el principio 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 el caso de los recursos ecológicos que funcionan en sistemas complejos, se necesitan herramientas adecuadas de análisis (Ostrom, 2007). Por ejemplo el marco teórico de los Sistemas Socio-Ecológicos de E. Ostrom.

Sistema socio-ecológico de los recursos

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

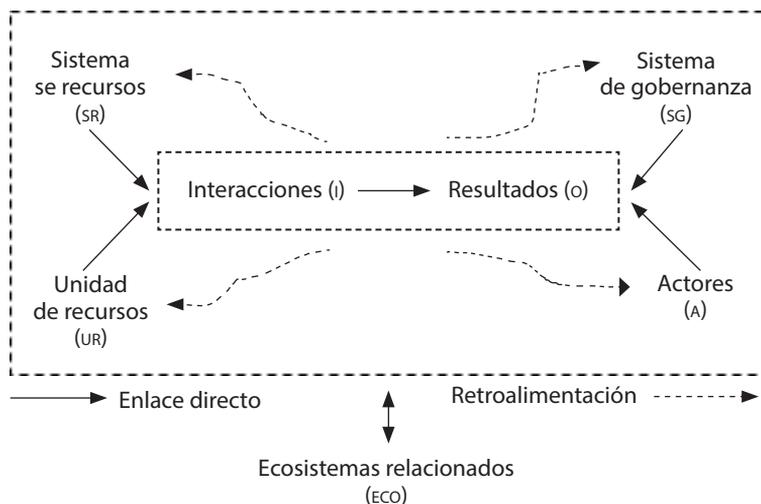
El marco SES permite organizar análisis de cómo los atributos de: *i)* el sistema de recursos, *ii)* las unidades de recursos generadas por ese sistema, *iii)* los usuarios de ese sistema, y *iv)* el sistema de gobernanza afecta y son conjuntamente afectados por las interacciones y los resultados obtenidos en un momento y lugar determinados. En este contexto, el marco SES es un marco multinivel donde cada una de las categorías anteriores es 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 permita 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 componentes 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, y también se afectan entre sí. como entornos sociales, económicos y políticos vinculados y ecosistemas relacionados. En los segundos niveles, también se han identificado un conjunto de variables de “segundo nivel” 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 una variable del sistema de usuarios. El siguiente es el marco Ostrom para 2007.

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

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



FUENTE: Ostrom, 2007.

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 variables 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 E., 2007). En este contexto, el SSE no solo se considera como una suma de sus partes, sino también las interacciones entre sus partes en fenómenos dependientes.

Sin embargo, debería 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 la tabla 1.

De acuerdo con la tabla 1, el marco SES contiene 28 variables cuyas interacciones afectan los resultados obtenidos en la explotación y 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 tratar el problema de la complejidad al mostrar cómo las variables interactúan y for-

TABLA 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) RS2- Claridad de los límites del sistema RS3- Tamaño del sistema de recursos RS4- Instalaciones construidas por humanos RS5- Productividad del sistema RS8- Características de almacenamiento RU3- Interacción entre unidades de recursos RU4- Valor económico RU5- Tamaño	U1- Número de usuarios U2- Atributos socioeconómicos de los usuarios RU3- Historia de uso U4- Ubicación U5- Liderazgo/emprendimiento U6- Normas/ capital social U7- Conocimiento de los SES/Modelos mentales U8- Dependencia a los recursos U9- Tecnología usado
Interacciones (I)	Resultados (o)
I1- Niveles de cosecha de diversos usuarios I2- Intercambio de información entre usuarios I5- Actividades de inversión I6- Actividades de cabildeo	O1- Medidas de desempeño social (p. ej., eficiencia, equidad, rendición de cuentas) O2- Medidas de rendimiento ecológico (p. ej. emisiones) O3- Externalidades a otros SES
Ecosistemas Relacionados (ECO)	
ECO1-Patrones climáticos. ECO2-Patrones de contaminación. ECO3-Flujos dentro y fuera del SES focal	

FUENTE: Ostrom, 2007.

man patrones de interacciones y los 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 en la gestión tecnológica de los hidrocarburos en México

Los hidrocarburos en este capítulo se refieren a los hidrocarburos petroleros según (Berkowitz, 1997). El estudio de los antecedentes en la gestión tecnológica de los hidrocarburos en México está hecho a través del análisis del progreso tecnológico de la industria petrolera se puede hacer 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 explotación del petróleo mexicano inicio a la época prehispánica bajo el nombre de “chapoté”. Debido en su uso natural en forma de goma de mascar para vigorizar, pulir y limpiar la dentadura y combatir la alitis, también se utilizaba este producto 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 siguiente imagen.

Fue hasta en 1881 se otorgó una posesión oficial de una mina en el estado de 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 fue marcado por las compañías extranjeras con la orientación de la actividad de exportar el aceite crudo e importar los combustibles y lubricantes para el mercado nacional.

Desarrollo técnico en los hidrocarburos como un sistema de los recursos socio-ecológicos

FIGURA 2. *Uso antiguo del chapopote*

FUENTE: Ramírez, 2022.

El desarrollo técnico de los hidrocarburos se basa al hecho de que los hidrocarburos son recurso natural agotable, donde su explotación ha sido hecha en el objetivo de satisfacer necesidades presentes y los mercados nacional e internacional.

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

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

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

Donde:

- $S(t)$ es el stock de los hidrocarburos como recursos agotables (al comienzo del período $[t, t + 1]$). En caso de los hidrocarburos de México, al inicio este

stock estaba desconocido y fue conocido en el tiempo y 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 de los avances tecnológicos y la lucha a la satisfacción del mercado nacional e incremento del mercado internacional, el flujo de extracción por unidad discreta de tiempo ha sido en una tendencia creciente. Este se refleja en creciente de las refinerías moderadas y construidas y crecimiento en 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 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 sido crecientes de manera exponencial.

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

$$0 \leq r(t)$$

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

$$0 \leq S(t)$$

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

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

Donde $S^b > 0$ representa algún objetivo de recurso garantizado, refi-

riéndose 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 tanto, porque la explotación de los petróleos mexicanos ha sido marcada por la búsqueda de nuevos pozos.

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

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

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 es expresado por:

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

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

Este modelo se aplica en el proceso de desarrollo técnico de la explotación del petróleo mexicano antes la expropiación. El desarrollo técnico de la explotación del petróleo en México fue llevado a cabo por las compañías extranjeras dentro un esquema con principio de enviar el aceite a sus metrópolis para su transformación e importar los productos para el mercado nacional.

TABLA 2. *Las mayores refinerías fundadas antes 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 Donheny
5	Refinería en Doña Cecilia, hoy Ciudad Madero, Tamps.	1914	Cía. de Petróleo El Águila
6	Refinería de Azcapotzalco, CDMX	1933	Cía. de Petróleo El Águila
7	Refinería Bellavista en Tampico, Tamps.	1934	Petróleos de México, S. A.

FUENTE: diseño propio con la información de Cuadrilla (2015).

El progreso técnico en las refinerías fue marcado por la formación de los trabajadores nacionales que ocupaban en la mayoría los niveles técnicos por los cuales adquieren conocimiento que sirvió con mucha importancia al momento de la expropiación.

Avances técnicos en las refinerías después de la expropiación

El avance técnico fue marcado por la reorganización de los cambios donde los trabajadores y técnicos mexicanos de las compañías extranjeras asumieron la carga de la nueva estructura y frente a las nuevas necesidades del mercado digamos por ejemplo las necesidades de combustible de la segunda guerra mundial, y las del creciente mercado nacional.

Este avance se puede clasificar como siguiente:

- i) El periodo de 1938-1950:* Este periodo fue un periodo de esforzarse 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 comercialización del petróleo. En este caso podemos decir el trabajo del Dr. Teófilo García Sancho por la producción del tetraetilo de plomo en México en el año 1940. Este acto dio origen proyecto los ámbitos de la ciencia y la tecnología petroleras mexicanas no solamente a nivel nacional 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.

TABLA 3. Avances técnicos en la refinería de Azcapotzalco

Año	Planta	Capacidad	Productos
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 acto la refinería de Azcapotzalco aumento su capacidad de 23 000 a 50 000 barriles por día. Esta 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 para nada más exportación por la creación de una refinería de desarrollo regional, por la construcción de la refinería de Salamanca entre 1950 y 1955, la modernización de la refinería de Minatitlán en 1954, y por último la desintegración catalítica de la refinería de Azcapotzalco en 1959. Todo este cambio en la refinería industrial mexicana has sido llevado a cabo mano a mano con el desarrollo de los técnicos.
- iii) *El periodo de 1960-1970:* Este periodo fue marcado por la modernización de las refinerías de Madero, Salamanca, Minatitlán y de Azcapotzalco, y 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 periodo 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 se acompañó por la consolidación en 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, se desaparecieron la figura de las empresas extranjeras. Este desarrollo al otro lado se justifica con el vínculo directo del comercio petrolero mexicano con la economía del país. Este vínculo ha siempre impulsado la importancia de buen manejo de estos recursos.

Importantes logros en el desarrollo técnico de la industria petrolera mexicana

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

Consolidación de petróleos mexicanos en el ramo de la transformación industrial que impactó positivamente la educación superior,

- i) Desarrollo un espíritu patriótico frente a las empresas extranjeras expropiadas,
- ii) 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 combustibles: se redujo a la mitad 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 fue marcado por la creación del departamento del Petróleo en Ferrocarriles Nacionales de México en 1923, con objetivo de poner un sistema organizada por la explotación de los yacimientos concesionados por el Gobierno Fe-

deral para satisfacer sus necesidades de combustible y, vender los excedentes al mercado. Este acontecimiento muestra el interés del mercado legal del gobierno federal en la explotación del Petróleo.

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

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

Innovación para la sustentabilidad de los recursos hidrocarbonos en México

Concepto de la innovación

La innovación ha sido un tema estudiado por autores diferentes y ha obtenido varias definiciones y su significación ha variado con el paso del tiempo (manual de Oslo 2005); surge de la importancia que la innovación tiene en la competitividad empresarial y desarrollo económico (Kline y Rosenberg 1986). Las siguientes son algunas de las definiciones acerca de la innovación:

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

Según Kline y Rosenberg (1986), la innovación es un proceso de creación de algo nuevo y 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 decir que la innovación es un proceso sistemático por el cual a partir de las ideas innovadoras⁶ se genera algo nuevo con valor del mercado. Este es un requisito para cualquier empresa pequeña o mediana para poder competir y crecer.

A partir de las definiciones dadas arriba, se identifica que la significación de la innovación ha variado revolucionariamente en dos aspectos, “novedad y aplicación”, dominan su significación (Cotec, 2001). Es decir, la innovación implica la creación de algo nuevo y aceptado en el mercado. Es a partir de estos dos conceptos, que 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 sig-

⁶ Pendiente

nificado (Kline y Rosemberg, 1986), y la conceptualización no tenga sentido sin su incorporación en las actividades de las empresas, en que según Porter (1998) mediante de la innovación se generan la competitividad y crecimiento.

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

Conclusión

La gestión de los recursos socio-ecológicos es un sistema va mano a mano con el desarrollo técnico para encontrar las soluciones eficientes y efectivas para generar uso éxito de estos recursos.

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

En México, los hidrocarburos nos dan un ejemplo típico de como el desarrollo técnico es impredecible para cualquiera gestión por éxito de los recursos ecológicos. Este se observa en el proceso evolutiva 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 en el desarrollo técnico este es los casos entre otros la nacionalización del petróleo mexicano, la creación de Pemex y la CNH.

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 (WOW5) 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.
- Hippel, E. V. (2005). *Democratizing innovation*. MIT.
- Hippel, E. v. (2017). *Free innovation*. MIT.
- IEA (2016). *Mexico energy outlook*. International Energy Agency, OECD.
- IEA (2020). *Sustainable development scenario*. IEA.
- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). (2022, septiembre 4). *Industria petrolera*. 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. <https://doi.org/10.1073/pnas.0702288104>
- Ostrom, E. (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*. <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. <https://doi.org/10.1007/s002679900083>
- Sener (Secretaría de Energía). (2022, septiembre 3). *¿Qué son los hidrocarburos?* Gobierno de México. Secretaría de Energía Blog: <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., Adamseged, 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). <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

Tabla 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 por que en dicho medio hay mayores posibilidades de dispersión de contaminantes que en el medio terrestre; desechos industriales y humanos.	xx			xx
	Operación de pozo 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, inst. y peff. 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 convienen 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 hidrocarburos); 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 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 (ver capítulo de 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
Distribución y almacenamiento	Construcción de la infraestructura y las 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 convierten 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 cuentan 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
(coords.) 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 (CIIEMAD) 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.



**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA** PUBLICACIONES
ARBITRADAS

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



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

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



9 786075 935195