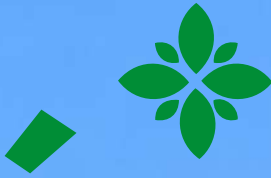


NÚMERO 6 MARZO-ABRIL 2026



BRÚJULA VERDE

ACCIONES QUE DEJAN HUELLA

*De lo lineal
a lo circular
en el IPN*

*Fracking:
del rechazo a la
evaluación responsable*



¿SABÍAS QUÉ?

En México, manglares como el *Avicennia germinans*

pueden cambiar de color, perder hojas o debilitarse cuando hay hidrocarburos en el suelo...



Zona sensible a contaminación

como si revelaran lo que el petróleo intenta ocultar bajo la superficie. Estos ecosistemas están protegidos por la **NOM-059-SEMARNAT-2010** debido a su alta vulnerabilidad.



Educación
Secretaría de Educación Pública



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

DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS

Brújula Verde. Revista de Sustentabilidad, Volumen 6, Número 6, marzo-abril 2026, es una publicación de periodicidad bimestral editada por el Instituto Politécnico Nacional, a través de la Coordinación Politécnica para la Sustentabilidad (CPS).

Domicilio de la publicación y distribución: Biblioteca Nacional de Ciencia y Tecnología del IPN "Víctor Bravo Ahuja", 3er piso, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Av. Instituto Politécnico Nacional S/N, Esq. Wilfrido Massieu, Col. San Pedro Zacatenco, Alcaldía Gustavo A. Madero, Ciudad de México, C.P. 07738. Tel. (55) 5729 6000 Exts. 54450 a 54464 www.ipn.mx/sustentabilidad

Editora responsable: Mildred Castro Hernández.

Número de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título: 04-2025-092316584100-102.

IDEM de Certificado de Licitud de Contenido: En trámite.

Núm. ISSN: En trámite

Responsable de la última actualización de este Número: Unidad de Informática de la Coordinación Politécnica para la Sustentabilidad.

Fecha de la última modificación:

06 de mayo de 2026.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Contenido

1. Desde una agenda verde		
Energía, territorio y futuro: decisiones que nos definen	6	
2. Huella verde: El corazón del IPN		
De lo lineal a lo circular en el IPN	10	
<i>Fracking</i> : del rechazo a la evaluación responsable	14	
Un grupo plural para una decisión de país: <i>fracking</i> responsable	18	
3. Iniciativa politécnica: Impulsando soluciones		
Mujeres que se hacen visibles: construir la marca personal desde la autenticidad	22	
Luz que transforma: una solución real para tratar aguas residuales desde su origen	26	
Antes de que suba el agua: alertas inteligentes contra inundaciones	30	
4. Opiniones del cambio: Trascendiendo límites		
El <i>fracking</i> en los límites de la sustentabilidad ambiental y la soberanía energética	34	
México ante su encrucijada energética: entre la inercia fósil y la trayectoria hacia emisiones netas cero	38	
5. Tendencias sin fronteras: Hacia un futuro verde		
Innovación politécnica: del aula al espacio... nanosatélites con materiales sustentables	42	
6. El arte que nos habita: Patrimonio e identidad politécnica		
La innovación de materiales en la pintura mural: el IPN como laboratorio de la técnica artística	44	
7. Agenda verde: Compromisos y acciones en el IPN		
Eventos verdes del IPN	48	
8. Dejando marca: Huellas de personas imborrables		
Brújula Verde. De 1936 al mañana: la evolución energética del Politécnico	50	
9. BV: Comunicación		
Redes sociales	51	
10. BV: Consulta digital		
Fuentes de consulta	53	



Editorial

Energía, territorio y futuro: decisiones que nos definen

Por la pluma de: *Comité Editorial de Brújula Verde.*

En México, hablar de energía es hablar de historia, de soberanía y, hoy más que nunca, de futuro. Este número de Brújula Verde se sitúa en una coyuntura decisiva: la transición energética ha dejado de ser una aspiración lejana para convertirse en una necesidad urgente que exige rigor técnico, claridad política y compromiso social. En este contexto, el país prevé el avance hacia alternativas más sustentables, mientras enfrenta debates complejos sobre el aprovechamiento de recursos no convencionales, como el gas y el petróleo extraídos mediante fractura hidráulica (*fracking*).

La postura del gobierno federal —expresada en la conferencia del 15 de abril de 2026— vuelve a colocar una pregunta inevitable: ¿cómo equilibrar la seguridad energética con la integridad ambiental?, ¿qué papel deben jugar los hidrocarburos en un país que también ha asumido compromisos climáticos globales? La ruta planteada apunta a una transición ordenada, donde el fortalecimiento de fuentes más limpias convive, en el corto plazo, con el manejo estratégico de los recursos fósiles. Sin embargo, el *fracking*, por su intensidad hídrica y sus riesgos ambientales, se mantiene como uno de los puntos más delicados de esta discusión.

Este debate no es nuevo. Sus raíces se encuentran en la propia construcción del Estado mexicano. La figura del General Lázaro Cárdenas, que hoy enmarca la portada de este número, nos recuerda que la energía ha sido un eje de transformación nacional. Durante su gobierno, la expropiación petrolera de 1938 no solo recuperó para la nación el control de sus recursos hidrocarbúricos, sino que sentó las bases de una política energética soberana, impulsando la exploración y gestión estatal del petróleo a través de Petróleos Mexicanos. En paralelo, la fundación del IPN en 1936 respondió a la necesidad estratégica de formar técnicos, ingenieros y científicos capaces de sostener

ese proyecto, vinculando la educación tecnológica con el desarrollo energético del país.

Hoy, casi un siglo después, esa misión se actualiza frente a un nuevo paradigma. Ya no se trata únicamente de aprovechar recursos, sino de comprender sus límites, reconocer sus impactos y tomar decisiones que asuman con conocimiento de causa, posibles riesgos. En este contexto, las universidades públicas —como el IPN— tienen un papel insustituible como espacio de pensamiento crítico y generación de conocimiento, capaz de aportar elementos para una discusión informada, plural y responsable.

A ello se suma una dimensión ineludible: la sustentabilidad no puede pensarse sin perspectiva de género. En el marco del Día Internacional de la Mujer, es imprescindible reconocer que las decisiones energéticas y ambientales tienen impactos diferenciados. En muchos territorios, son las mujeres quienes enfrentan de manera desproporcionada la escasez de agua, la degradación ambiental y las cargas asociadas a estos problemas, al tiempo que lideran soluciones desde sus comunidades. Incorporar esta mirada no es un gesto simbólico, es una condición para construir políticas verdaderamente justas.

Este número no pretende ofrecer respuestas definitivas, sino abrir preguntas necesarias: ¿qué tipo de desarrollo energético queremos para México?, ¿cómo aseguramos que las decisiones de hoy no comprometan las posibilidades de mañana?, ¿qué papel debemos asumir, como comunidad académica, en este proceso?

Porque si algo nos enseñó la historia es que las grandes transformaciones no ocurren por inercia. Desde el IPN, se construyen con visión, con conocimiento, con responsabilidad y siempre, con *La Técnica al Servicio de la Patria*. **BV**



Directorio

- » **Dr. Arturo Reyes Sandoval** - Director General.
- » **M. en C. Ismael Jaidar Monter** - Secretario General.
- » **M en E.N.A. María Isabel Rojas Ruiz** - Secretaria Académica.
- » **Dra. Martha Leticia Vázquez González** - Secretaria de Investigación y Posgrado.
- » **M. C. E. Yessica Gasca Castillo** - Secretaria de Innovación e Integración Social.
- » **MAP. Marco Antonio Sosa Palacios** - Secretario de Servicios Educativos.
- » **Mtra. Ana María Arrona González** - Secretaria de Administración.
- » **Mtro. Noel Miranda Mendoza** - Secretario Ejecutivo de la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas.
- » **Ing. Arq. José Alejandro Camacho Sánchez** - Secretario Ejecutivo del Patronato de Obras e Instalaciones.
- » **Mtro. Marx Yazalde Ortiz Correa** - Abogado General del IPN.
- » **M. en C. Modesto Cárdenas García** - Presidente del Decanato.
- » **Mtro. Orlando David Parada Vicente** - Coordinador General de Planeación e Información Institucional.
- » **Ing. Andrés Falcón García** - Coordinador General del Centro Nacional de Cálculo.
- » **Mtro. Marco Antonio Ramírez Urbina** - Coordinador de Imagen Institucional.
- » **Mtra. Mildred Castro Hernández** - Coordinadora Politécnica para la Sustentabilidad.

Miembros de Brújula Verde

- » **Directora ejecutiva** – Mtra. Mildred Castro Hernández; Liderazgo institucional.
- » **Directora creativa** – Lic. Paulina Muñoz Yañez; Editora de diseño e identidad visual.
- » **Diseño gráfico** – Lic. René Perea Hernández; Ilustraciones.
- » **Coordinador de vinculación** – Lic. Cristhian Hernández Zaragoza; Responsable de enlaces.



De lo lineal a lo circular en el IPN

Por la pluma de: *Olivia Calixto Fernández, Departamento de Proyectos Especiales y Cambio Climático-CPS.*



El IPN avanza en la consolidación de un modelo de gestión ambiental integral sustentado en los principios de la economía circular, entendida —de acuerdo con la Ley General de Economía Circular (LGEC)— como un sistema de producción y consumo orientado a optimizar el uso de los recursos, reducir la generación de residuos y minimizar los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida de los productos, procesos y servicios (Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, 2025).

En este marco, el IPN impulsa el desarrollo de mecanismos de medición de la circularidad con enfoque de análisis de ciclo de vida, con el propósito de evaluar de manera integral los impactos ambientales y evitar su traslado entre etapas o medios.

[El Programa Institucional de Economía Circular y Cero Residuos 2026–2030 \(PIECC\)](#) se posiciona como un instrumento estratégico que traduce los principios de la LGEC y de la *Política para la Sustentabilidad* Politécnica en acciones concretas, medibles y verificables dentro de la institución.

La magnitud del reto cobra mayor claridad al analizar la generación de residuos en términos per cápita. De acuerdo con el *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos* de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2020), en México se generan en promedio 0.952 kg de residuos por persona al día. En el caso del IPN, esta cifra se eleva a aproximadamente 1.07 kg por persona al día, lo que refleja una presión ligeramente superior al promedio nacional, asociada a la alta concentración de población en la Ciudad de México y a la intensidad de las actividades académicas, administrativas y de servicios. Esta diferencia, aunque aparentemente marginal, adquiere una dimensión significativa al escalar a toda la comunidad politécnica, dando como resultado una generación estimada de 153 toneladas diarias de residuos en 2025. Este dato no solo evidencia la relevancia institucional del problema, sino también la oportunidad estratégica del IPN para incidir

en la reducción de impactos ambientales mediante la adopción de modelos circulares.

¿Qué es el PIECC?

El PIECC representa una transición estructural del modelo lineal —basado en extraer, usar y desechar— hacia un modelo circular que busca maximizar el valor de los materiales, prolongar su vida útil y reincorporarlos en nuevas cadenas productivas como insumos, reduciendo así la presión sobre los recursos naturales y la generación de residuos.

Este enfoque se rige por principios rectores como la participación activa, la jerarquización en la gestión de residuos, la circularidad, la transversalidad, la trazabilidad y la vinculación. Estos principios orientan decisiones institucionales clave, desde las adquisiciones y el diseño de infraestructura hasta la educación ambiental y la gestión integral de residuos, promoviendo además alianzas con actores públicos y privados especializados.

El programa establece cinco Metas Globales de Economía Circular (MGEC), alineadas con el marco de gestión circular definido en la LGEC, mediante las cuales se impulsa el desarrollo e implementación de un **sistema institucional para evaluar la circularidad de productos, servicios y organizaciones**. Este sistema incorpora el análisis de ciclo de vida como eje central, garantizando la integridad ambiental al evitar que los impactos se trasladen de un proceso a otro o de un medio a otro.

Metas Globales de Economía Circular del IPN

En este contexto, destaca el desarrollo de una **metodología institucional para la evaluación de la circularidad**, alinea da con la LGEC y sustentada en estándares internacionales como la familia de normas ISO 59000 e ISO 14000. Esta metodología integrará métricas propias que permitirá medir el desempeño circular de productos, servicios y organizaciones,

identificar áreas de mejora y garantizar la trazabilidad de la información, a partir de criterios de granularidad de datos escalable y comparable, que permiten analizar el desempeño a distintos niveles de desagregación sin perder consistencia metodológica.

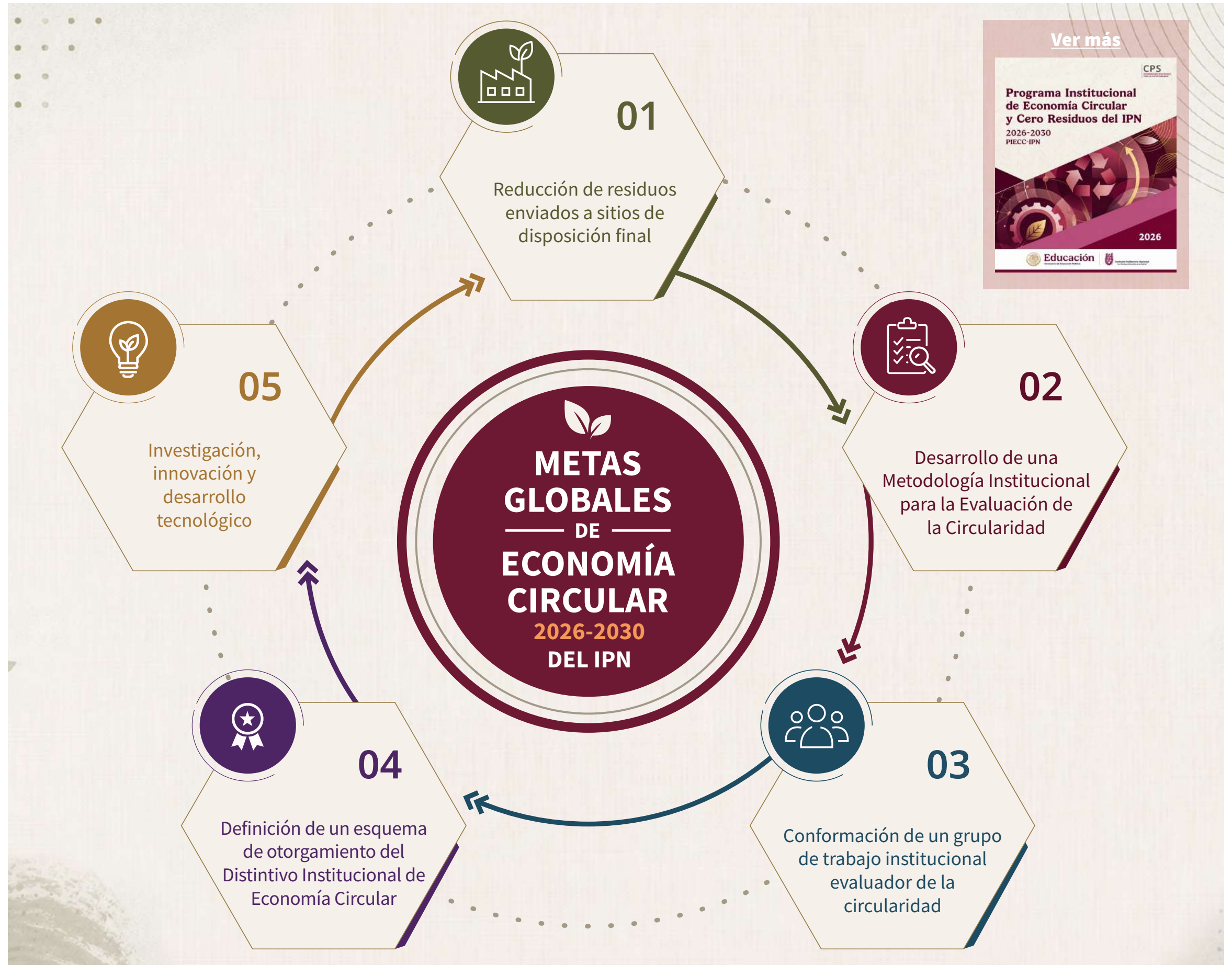
“
... se impulsa el desarrollo e implementación de un sistema institucional para evaluar la circularidad de productos, servicios y organizaciones...
”

De manera complementaria, el PIECC contempla acciones específicas que abarcan desde el diagnóstico de la generación de residuos hasta su valorización, así como la incorporación de criterios de sustentabilidad en los procesos de contratación de bienes y servicios. Cada acción cuenta con indicadores definidos, responsables de ejecución y plazos establecidos, con el **objetivo de aprovechar al menos el 90% de los residuos generados y reducir significativamente su envío a sitios de disposición final.**

“
... el objetivo de aprovechar al menos el 90% de los residuos generados y reducir significativamente su envío a sitios de disposición final...
”

Más que un programa, el PIECC es una invitación a transformar la manera en que se viven los procesos cotidianos dentro del IPN. No se trata únicamente de gestionar residuos, sino de replantear la relación con los recursos y asumir que cada decisión tiene un impacto en el entorno.

En ese sentido, el IPN no solo tiene la capacidad de reducir su huella ambiental, sino de posicionarse como un referente nacional en la gestión sustentable, demostrando que es posible transitar hacia un modelo más eficiente, responsable y consciente con el medio ambiente. **BV**



Fracking: del rechazo a la evaluación responsable

Por la pluma de: Mildred Castro-Hernández, titular de la CPS



Huella verde: El corazón del IPN

Durante años, la fracturación hidráulica (*fracking*) se instaló como uno de los temas más polarizados del debate energético. Sin embargo, la evidencia científica reciente sugiere que esa discusión ha evolucionado.

1. El debate ya no es si el *fracking* es bueno o malo, sino si es posible gestionar sus riesgos de manera responsable

El *fracking* permite extraer hidrocarburos atrapados en formaciones rocosas profundas mediante la inyección de agua, arena y aditivos químicos. Su desarrollo ha sido clave para el suministro energético global, pero también ha implicado impactos ampliamente documentados: consumo intensivo de agua, generación de aguas residuales complejas, emisiones fugitivas de metano y, en ciertos contextos, sismicidad inducida (Makki *et al.*, 2025).

2. No es una técnica sustentable en sentido estricto: es una actividad con riesgos inherentes que deben ser evaluados con rigor

La literatura científica coincide en que estos riesgos no desaparecen, aunque sí pueden gestionarse bajo condiciones estrictas. En los últimos años, la investigación se ha enfocado en reducir impactos mediante reúso de agua, mejora en la integridad de

pozos, monitoreo sísmico en tiempo real y control de emisiones (Li *et al.*, 2025; Schultz *et al.*, 2025).

Este cambio ha dado lugar a un giro conceptual relevante:

3. Más que *fracking* sustentable, lo que emerge en la literatura es un conjunto de enfoques orientados a la gestión de impactos:

“*fracking* responsable”, “desarrollo responsable de hidrocarburos no convencionales”, “*best available technologies*”, “*lower-impact fracturing*”, “gestión integral de riesgos”, “operaciones con menor huella hídrica y de carbono” y, “producción ambientalmente responsable” (Makki *et al.*, 2025; Li *et al.*, 2025).”

“

Más que *fracking* sustentable, lo que emerge en la literatura es un conjunto de enfoques orientados a la gestión de impactos: “*fracking* responsable”, “desarrollo responsable de hidrocarburos no convencionales”, “*best available technologies*”, “*lower-impact fracturing*”, “gestión integral de riesgos”, “operaciones con menor huella hídrica y de carbono” y, “producción ambientalmente responsable...

”





4. Ninguno de estos términos implica ausencia de impacto; todos parten de una misma premisa: los riesgos existen y deben ser medidos, reducidos y regulados con el mayor rigor posible

A nivel internacional, este enfoque ya se refleja en la práctica. En Estados Unidos, por ejemplo, se han desarrollado regulaciones y tecnologías orientadas al control de emisiones de metano, el reúso de agua y la integridad de los pozos, aunque con resultados variables según la región y el marco regulatorio. En América Latina, el desarrollo de hidrocarburos no convencionales en la formación Vaca Muerta, en la cuenca neuquina de Argentina, ilustra tanto el potencial energético como los retos asociados al uso intensivo de agua, la gestión ambiental y la aceptación social de estos proyectos.

En México, el tema adquiere una dimensión estratégica. El país cuenta con recursos prospectivos importantes de hidrocarburos no convencionales, que representan más de la mitad del potencial nacional estimado (SENER, 2024), pero al mismo tiempo mantiene una alta dependencia del gas natural importado (IEA, 2023). En este contexto, el anuncio del 16 de abril de 2026 en la conferencia de la Presidenta

Claudia Sheinbaum sobre la conformación de un comité técnico-científico, conformado entre otras instancias por universidades públicas[C3.1], para evaluar el *fracking* abre una ruta basada en evidencia.

5. No es una decisión tomada: es el inicio de una evaluación técnica que debe sostenerse en datos, no en posturas

No obstante, cualquier análisis serio debe partir de una condición crítica: el agua.

6. Hablar de *fracking* en México es, necesariamente, hablar de agua

El concepto de **bancarrotas hídricas** describe con precisión el contexto actual: la sobreexplotación de acuíferos, la variabilidad climática y el aumento de la demanda están llevando a los sistemas hídricos al límite de su capacidad. Este fenómeno se asocia a condiciones de estrés hídrico extremo, donde la extracción supera la recarga natural y compromete la disponibilidad futura.

7. No es solo escasez: es la pérdida progresiva de la capacidad del sistema hídrico para sostener el desarrollo



Presa La Boca, Nuevo León

Desde la evidencia científica, la gestión del agua es uno de los principales factores de riesgo del *fracking*, tanto por el volumen requerido como por la complejidad del tratamiento de las aguas residuales (Li *et al.*, 2025). Esto obliga a plantear preguntas críticas sobre disponibilidad por cuenca, viabilidad de reúso y límites en zonas o regiones vulnerables.

8. El mayor riesgo no es la técnica en sí, sino su implementación en contextos que no pueden sostenerla

A ello se suman otros desafíos: el control de emisiones de metano, la integridad de los pozos y la transparencia en los insumos utilizados. La evidencia muestra que estos factores dependen tanto de la tecnología como de la regulación -y su calidad- como del monitoreo (Makki *et al.*, 2025).

9. La diferencia entre riesgo controlado y daño ambiental suele estar en la capacidad técnica e institucional para anticipar, medir y corregir

Instituciones de Educación Superior, como el IPN tienen

la oportunidad de contribuir desde la generación de evidencia independiente, el desarrollo de metodologías de evaluación ambiental y la formación de especialistas capaces de incidir en la toma de decisiones públicas.

10. El papel de las universidades no es simplificar la discusión, sino elevarla con evidencia

En ese sentido, incluso en el escenario en que se considerara viable el uso de *fracking*, este no podría sustituir la expansión de energías renovables ni la mejora en eficiencia energética.

Más bien, en el mejor de los casos, podría desempeñar un papel transitorio.

El debate, entonces, ya no puede reducirse a posturas absolutas. Entre el rechazo total y la adopción sin condiciones existe un espacio más exigente: el de la evaluación rigurosa, la regulación efectiva y la responsabilidad ambiental.

Y es justamente en ese espacio donde se definirá el futuro del *fracking* en México. **BV**

Un grupo plural para una decisión de país: fracking responsable

Por la pluma de: Comité Editorial de Brújula Verde

Huella verde: El corazón del IPN

En conferencia del 16 de abril, la Presidenta [Claudia Sheinbaum Pardo](#) colocó en el centro de la conversación nacional uno de los temas más complejos para el futuro energético del país: la posible utilización del *fracking* en el marco de la transición energética. Su planteamiento fue claro y, sobre todo, pertinente: cualquier decisión deberá sustentarse en evidencia científica y en una evaluación integral de sus impactos ambientales, sociales y económicos. No se trata de una discusión ideológica, sino de una deliberación informada.

“Más que fracking sustentable, lo que emerge en la literatura es un conjunto de enfoques orientados a la gestión de impactos: “fracking responsable”, “desarrollo responsable de hidrocarburos no convencionales”, “best available technologies”, “lower-impact fracturing”, “gestión integral de riesgos”, “operaciones con menor huella hídrica y de carbono” y, “producción ambientalmente responsable...”

En este sentido, la Presidenta destacó la instrucción de que el tema sea analizado por un grupo plural de especialistas convocados a través de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, integrado por académicos y expertos de diversas universidades y centros de investigación. Este enfoque reconoce que el futuro energético no puede definirse desde una sola perspectiva, sino a partir del diálogo entre disciplinas y del rigor técnico que exige una decisión de esta magnitud.

Desde el IPN, esta definición tiene un peso particular. Como lo señaló nuestro Director General, Dr. Arturo Reyes Sandoval, el conocimiento debe ser el eje sobre el cual se construyan las decisiones públicas. Para nuestra institución, esto no es nuevo: forma parte de su origen. Nacimos para poner la técnica al servicio del país, y hoy esa misión se actualiza en debates como este, donde lo que está en juego no es menor: la interrelación entre desarrollo, ambiente y bienestar social.

“Como lo señaló nuestro Director General, Dr. Arturo Reyes Sandoval, el conocimiento debe ser el eje sobre el cual se construyan las decisiones públicas

Más allá de posturas simplificadas, el reto está en comprender la complejidad del *fracking* y sus implicaciones reales en los territorios, en los ecosistemas y en las comunidades. La participación de especialistas de diversas universidades e instituciones públicas abre una oportunidad para que esta discusión se construya con seriedad, con evidencia y con visión de largo plazo.

Grupo plural de especialistas

En la siguiente página se enlistan las personas que conformarán el grupo de especialistas en *fracking*. Debe señalarse que esta integración no es menor. Refleja la intención de construir una discusión seria, sustentada en conocimiento especializado y con representación de distintas disciplinas: desde la ingeniería petrolera, la geología y la geoquímica, hasta la economía, la política energética y las ciencias ambientales. Es, en esencia, un reconocimiento de que las decisiones energéticas requieren una mirada amplia y profundamente informada.

Al final, más allá de lo técnico o lo político, esta conversación nos toca de cerca. Porque hablar de energía no es solo hablar de recursos o tecnologías; es hablar del país que estamos construyendo. Es preguntarnos qué estamos dispuestos a cuidar, qué estamos dispuestos a transformar y qué presente y futuro deseamos.

Y quizá lo más valioso de este momento es que se está apostando por algo fundamental: escuchar a la ciencia. Porque cuando las decisiones se toman con conocimiento, dejan de ser apuestas y se convierten en responsabilidad compartida. **BV**



Un grupo plural para una decisión de país: *Fracking* responsable



Entre los especialistas, destacan:

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL (IPN)

Dr. Jesús Humberto Romo Toledano (ESIQIE)
Ingeniero químico industrial
Tratamiento de aguas con hidrocarburos

M. en I. Rosa María Hernández Medel (ESIA Ticomán)
Ingeniera petrolera
Fluidos de perforación y fracturamiento

M. en C. José Adalberto Morquecho Robles (ESIA Ticomán)
Ingeniero petrolero
Geomecánica aplicada a la perforación

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM)

Dra. Blanca Jiménez Cisneros (Facultad de Ingeniería)
Ingeniera ambiental
Gestión y tratamiento de agua

Dra. Ana Paulina Gómora Figueroa (Facultad de Ingeniería)
Ingeniera petrolera
Aseguramiento de flujo y almacenamiento de carbono

Dra. Elena Centeno García (Instituto de Geología)
Ingeniera geóloga
Tectónica y evolución geológica

Dra. Blanca Prado (Instituto de Geología)
Especialista en geociencias
Física de suelos

Dra. Telma Castro (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático)
Ingeniera ambiental
Contaminación atmosférica

Dra. Norma Leticia Campos Aragón (Instituto de Investigaciones Económicas)
Economista
Política energética

OTRAS INSTITUCIONES NACIONALES

Dra. Margarita Mercedes González Brambila (UAM)
Ingeniera
Energía y medio ambiente

Dr. Carlos Aguilar Madera (Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL)
Ingeniero
Recuperación de hidrocarburos

INSTITUCIONES INTERNACIONALES

Dr. Carlos Serralde Monreal (Mount Royal University, Canadá)
Ingeniero ambiental
Tratamiento de residuos peligrosos en acuíferos

CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN

Dr. Manuel Martínez Morales (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - IMTA)
Ingeniero geólogo
Aguas subterráneas

Dr. Samuel Alejandro Lozano Morales (Centro de Investigación en Química Aplicada) CICA
Ingeniero químico
Control de contaminación

SECTOR ENERGÉTICO PÚBLICO

Dr. Erick Emanuel Luna Rojero (Instituto Mexicano del Petróleo - IMP)
Físico e ingeniero
Recuperación de hidrocarburos

Dr. Luis Fernando Camacho Ortegón (Universidad Autónoma de Coahuila - UAdeC)
Geocientífico
Geología y procesos extractivos

Dr. Luis Carlos Sandoval Hezaro (Instituto Tecnológico Superior de Misantla - ITSM)
Ingeniero Civil
Recursos hídricos y seneamiento



Mujeres que se hacen visibles: construir la marca personal desde la autenticidad

Por la pluma de: Mildred Castro Hernández, titular de la CPS



En el marco del **Día Internacional de la Mujer**, se llevó a cabo la conferencia impartida por Ana De Saracho O'Brien, centrada en un tema de creciente relevancia en el desarrollo profesional contemporáneo: la construcción de la marca personal. El evento fue organizado por la Coordinación Politécnica para la Sustentabilidad, en coordinación con la Secretaría de Innovación e Integración Social (SIIS) y la Unidad Politécnica de Gestión con Perspectiva de Género (UPGPG), como parte de las acciones institucionales orientadas a fortalecer el liderazgo y la participación de las mujeres.

Actualmente, **Ana de Saracho** funge como presidenta de la Asociación de Líderes Empresariales Mexicanas (LEM) y colabora como profesional independiente en la iniciativa [Yo en Gestión 360°](#) [C5.1], lo que le permite articular una visión integral sobre liderazgo, estrategia y posicionamiento profesional.

Durante su intervención, subrayó que la marca personal debe entenderse como un proceso de **identificación y proyección de la identidad profesional**. Enfatizó que uno de los principales errores consiste en intentar ajustarse a expectativas externas, en lugar de reconocer con claridad las propias fortalezas, competencias y valores. En este sentido, destacó la **autenticidad** como un elemento fundamental para generar credibilidad y consistencia en la trayectoria profesional.

“
... la marca personal debe entenderse como un proceso de identificación y proyección de la identidad profesional.

”

Asimismo, abordó el **autoconocimiento** como eje estructural de la marca personal. Señaló la importancia de reflexionar de manera sistemática sobre las capacidades distintivas, los problemas que se pueden resolver y las motivaciones que orientan la acción profesional. Esta claridad, indicó, permite construir un discurso coherente y sostenible en distintos espacios de interacción.

Un aspecto particularmente relevante de la charla fue el énfasis en la **visibilidad**. Ana de Saracho destacó que, especialmente en el caso de las mujeres, persiste la noción de que el trabajo bien realizado es suficiente para generar reconocimiento. No obstante, señaló que en entornos complejos y altamente competitivos, la comunicación activa de logros, experiencias y conocimientos es indispensable para el posicionamiento profesional. La visibilidad, en este sentido, no responde a una lógica de protagonismo, sino a una estrategia de incidencia y generación de oportunidades.

Otro aspecto es la **confianza**, la cual no debe concebirse como una condición previa a la acción, sino como un resultado que se construye en el proceso. La toma de decisiones, la asunción de retos y la participación en nuevos espacios son, en sí mismos, mecanismos para fortalecer la seguridad profesional.

De igual forma, destacó la importancia de la **coherencia entre el discurso y la práctica**. La marca personal, señaló, se consolida a partir de la consistencia en el tiempo, reflejada en las acciones, los resultados y la forma de interacción con los distintos actores del entorno profesional.

En el marco del Día Internacional de la Mujer, la construcción de una marca personal se plantea como una herramienta estratégica para fortalecer la participación de las mujeres en espacios de liderazgo, toma de decisiones e incidencia, especialmente en ámbitos como la sustentabilidad.

“
... la marca personal no es un elemento accesorio, sino un recurso clave para alinear identidad, propósito y acción profesional, cuyo desarrollo auténtico no solo impulsa el crecimiento individual, sino que también contribuye a transformar los entornos en los que se participa...
”

La marca personal como herramienta estratégica, alinea identidad, propósito, acción; con autenticidad impulsa el crecimiento y transforma entornos. **BV**



Luz que transforma: una solución real para tratar aguas residuales desde su origen

Por la pluma de: Olivia Calixto Fernández, Egresada de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) Campus Zacatenco, Ingeniería en Sistemas Ambientales

Este trabajo forma parte de la tesis desarrollada para la obtención del grado de Ingeniera en Sistemas Ambientales por la ENCB del IPN

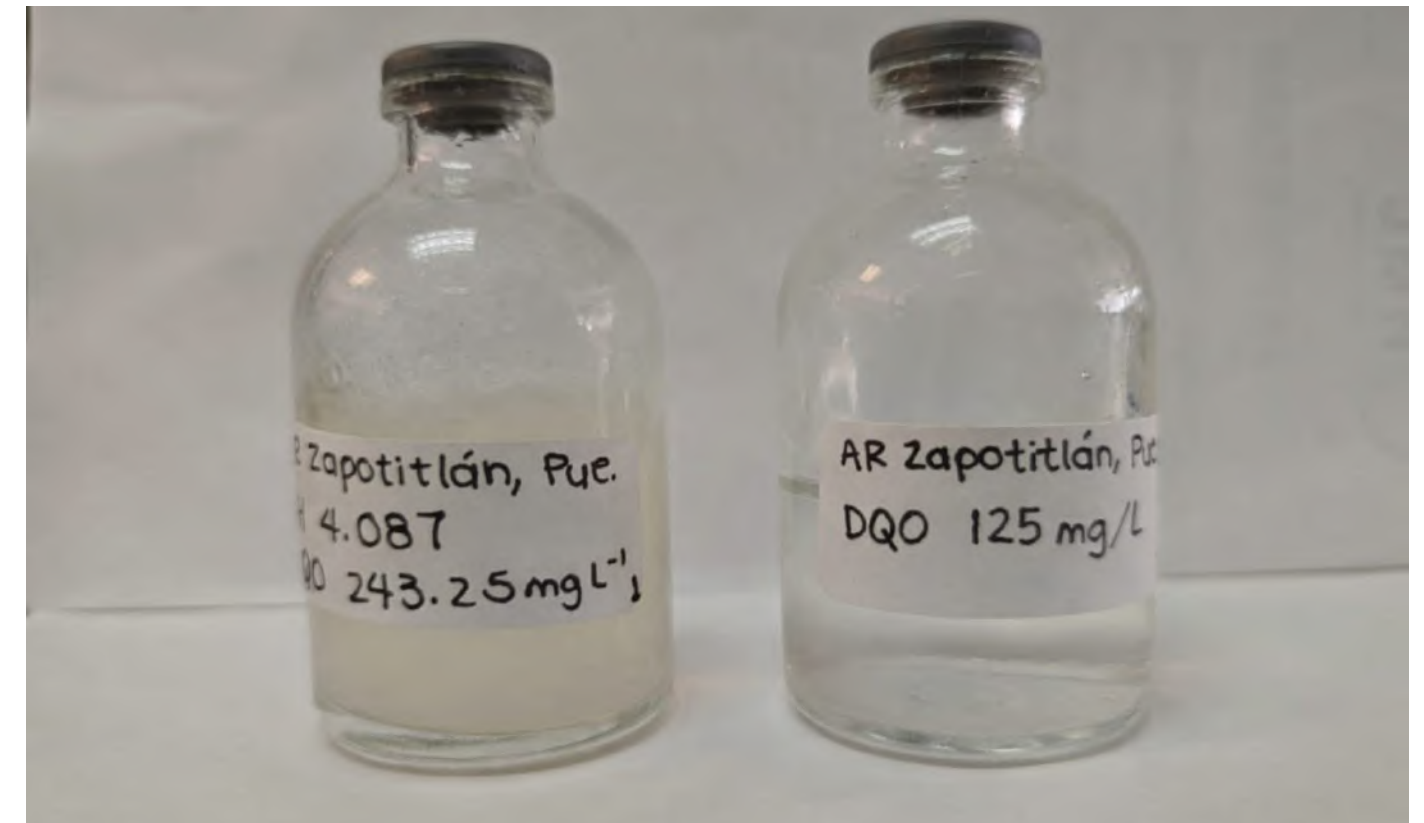
El acceso al agua limpia es uno de los mayores retos ambientales de nuestro tiempo. El crecimiento poblacional, la urbanización y las actividades industriales han incrementado la generación de aguas residuales, muchas de las cuales no reciben un tratamiento adecuado, afectando tanto a los ecosistemas como a la salud humana.

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2019), solo una fracción de las aguas residuales en México recibe tratamiento antes de ser devuelta al ambiente. El resto termina en ríos, canales y suelos, transportando contaminantes orgánicos, bacterias, grasas, metales y compuestos persistentes.

En México, la mayoría de las plantas de tratamiento están diseñadas para procesar grandes volúmenes de agua que recorren largas distancias a través del drenaje antes de ser tratadas. Esto plantea una pregunta clave: *¿es posible desarrollar tecnologías que permitan tratar el agua residual directamente en el sitio donde se genera?*

“
... ¿es posible desarrollar tecnologías que permitan tratar el agua residual directamente en el sitio donde se genera?.. La respuesta es sí. Una de las alternativas más prometedoras es la **fotocatálisis heterogénea**, un proceso que utiliza luz y materiales semiconductores para degradar contaminantes difíciles de eliminar mediante métodos convencionales.

La respuesta es sí. Una de las alternativas más prometedoras es la **fotocatálisis heterogénea**, un proceso que utiliza luz y materiales semiconductores para degradar contaminantes difíciles de eliminar mediante métodos convencionales.



Tratamiento de aguas residuales: innovación aplicada

Lo innovador de la tesis radica en que integra en un solo sistema elementos que la literatura ha estudiado tradicionalmente de manera aislada: el uso de zeolita como soporte, el desempeño del fotocatalizador (ZnO), el tratamiento de agua residual municipal real y el diseño del reactor.

Mientras que muchos estudios reportados en la literatura especializada se desarrollan bajo condiciones controladas o se enfocan en un solo componente del proceso (Jari *et al.*, 2025), en este caso se integran todos en una tecnología compacta orientada a disminuir la carga orgánica directamente en el sitio de generación. Además, el reactor fue diseñado para operar en serie y con recirculación, lo que permite un tratamiento continuo y acerca esta alternativa a condiciones reales de aplicación.

Sistema zeolita-óxido de zinc

El sistema desarrollado combina dos materiales con alto potencial: la zeolita, que actúa como soporte, y el óxido de zinc (ZnO), un semiconductor con propiedades fotocatalíticas.

Al ser irradiado con luz ultravioleta, el ZnO genera especies reactivas capaces de oxidar y degradar contaminantes presentes en el agua. Por su parte, la zeolita aporta una estructura microporosa que favorece la adsorción de contaminantes y su contacto con el semiconductor, así como el intercambio iónico, contribuyendo al desempeño del sistema.

Evaluación en condiciones reales

A diferencia de muchos estudios reportados en la bibliografía especializada, que evalúan sistemas fotocatalíticos mediante soluciones sintéticas o contaminantes modelo, este trabajo analizó el desempeño del sistema ZnO/zeolita utilizando agua residual municipal real, proveniente del municipio de Zapotitlán, Puebla.



Este enfoque implica un reto importante debido a la complejidad de la matriz del agua, donde coexiste una amplia diversidad de compuestos que afectan las variables determinantes de los procesos de degradación. Las muestras presentaban concentraciones elevadas de demanda química de oxígeno (DQO), superando ampliamente los límites permisibles establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-2021. Bajo estas condiciones, el sistema demostró ser efectivo para reducir la carga orgánica hasta niveles permisibles. No obstante, durante su operación se identificó una disminución progresiva en la eficiencia, asociada a la acumulación de compuestos en la superficie del fotocatalizador, lo que modificó sus propiedades.

Este comportamiento, poco documentado en estudios que trabajan con matrices reales, se relaciona con interacciones electrostáticas entre el material y los contaminantes adsorbidos, lo que abre oportunidades para optimizar el sistema y mejorar su desempeño en operación continua.

Finalmente, este trabajo demuestra que es posible avanzar hacia soluciones de tratamiento más cercanas al punto donde el agua se contamina. Más que una alternativa tecnológica, la fotocatalisis heterogénea abre la puerta a modelos descentralizados que pueden reducir la presión sobre la infraestructura existente y replantear la forma en que gestionamos el agua. **BV**

“
... la fotocatalisis heterogénea abre la puerta a modelos descentralizados que pueden reducir la presión sobre la infraestructura existente y replantear la forma en que gestionamos el agua.
”

Antes de que suba el agua: alertas inteligentes contra inundaciones

*Por la pluma de: Dr. Miguel Félix Mata Rivera, Jefe del Laboratorio de Inteligencia GeoEspacial y
Cómputo Móvil, Helvio Mollinedo Ponce de León, ambos en la UPIITA-IPN y Roberto Eswart Zagal
Flores en la ESCOM-IPN*

Las inundaciones forman parte de los fenómenos que más afectan a las ciudades durante la temporada de lluvias. En la Ciudad de México, cada año vemos cómo las precipitaciones intensas, el crecimiento urbano y las limitaciones del sistema de drenaje se traducen en calles colapsadas, daños a la infraestructura y, sobre todo, riesgos para las personas.

Ante este panorama, anticiparse ya no es una opción, es una necesidad. Por ello, los sistemas de alerta temprana se han vuelto una prioridad a nivel global. Iniciativas como [Early Warnings for All](#) (EW4All), impulsada por la ONU y la Organización Meteorológica Mundial, buscan que para 2027 todas las personas, sin importar dónde vivan, estén protegidas frente a fenómenos meteorológicos y climáticos peligrosos.

La propuesta es clara: que las alertas en tiempo real lleguen a todas y todos (**cobertura universal**), que sean comprensibles (**emisión de mensajes localizados y accesibles**), oportunas y útiles (**disponibilidad en tiempo real de los avisos**), y que activen respuestas concretas (**activación obligatoria de protocolos de respuesta**). Porque cuando una alerta llega tarde —o no llega— las consecuencias pueden ser irreversibles. De hecho, la falta de alertamiento oportuno sigue siendo una de las principales causas de muertes evitables por desastres hidrometeorológicos.

“
... que las alertas en tiempo real lleguen a todas y todos (cobertura universal), que sean comprensibles (emisión de mensajes localizados y accesibles), oportunas y útiles (disponibilidad en tiempo real de los avisos), y que activen respuestas concretas (activación obligatoria de protocolos de respuesta). Porque cuando una alerta llega tarde —o no llega— las consecuencias pueden ser irreversibles.
”

Más allá de la tecnología, estos sistemas representan una oportunidad para cuidar la vida, reducir pérdidas económicas y fortalecer la capacidad de las ciudades para enfrentar riesgos, especialmente en las comunidades más vulnerables, donde el impacto suele ser mayor.

En este contexto, desde el IPN, estudiantes de la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA) —Armando Rodríguez Blanco, Alejandro Emiliano Reyes Hernández y Sergio Zaldívar Díaz— desarrollaron el proyecto **Sistema de detección de inundaciones con predicción inteligente y sensores IoT**.

Se trata de una solución que combina sensores inteligentes conectados a Internet con modelos de análisis de datos. Estos dispositivos monitorean en tiempo real el nivel del agua y envían la información a una plataforma digital, donde algoritmos de aprendizaje automático estiman el riesgo de inundación y generan alertas antes de que el agua alcance niveles críticos.

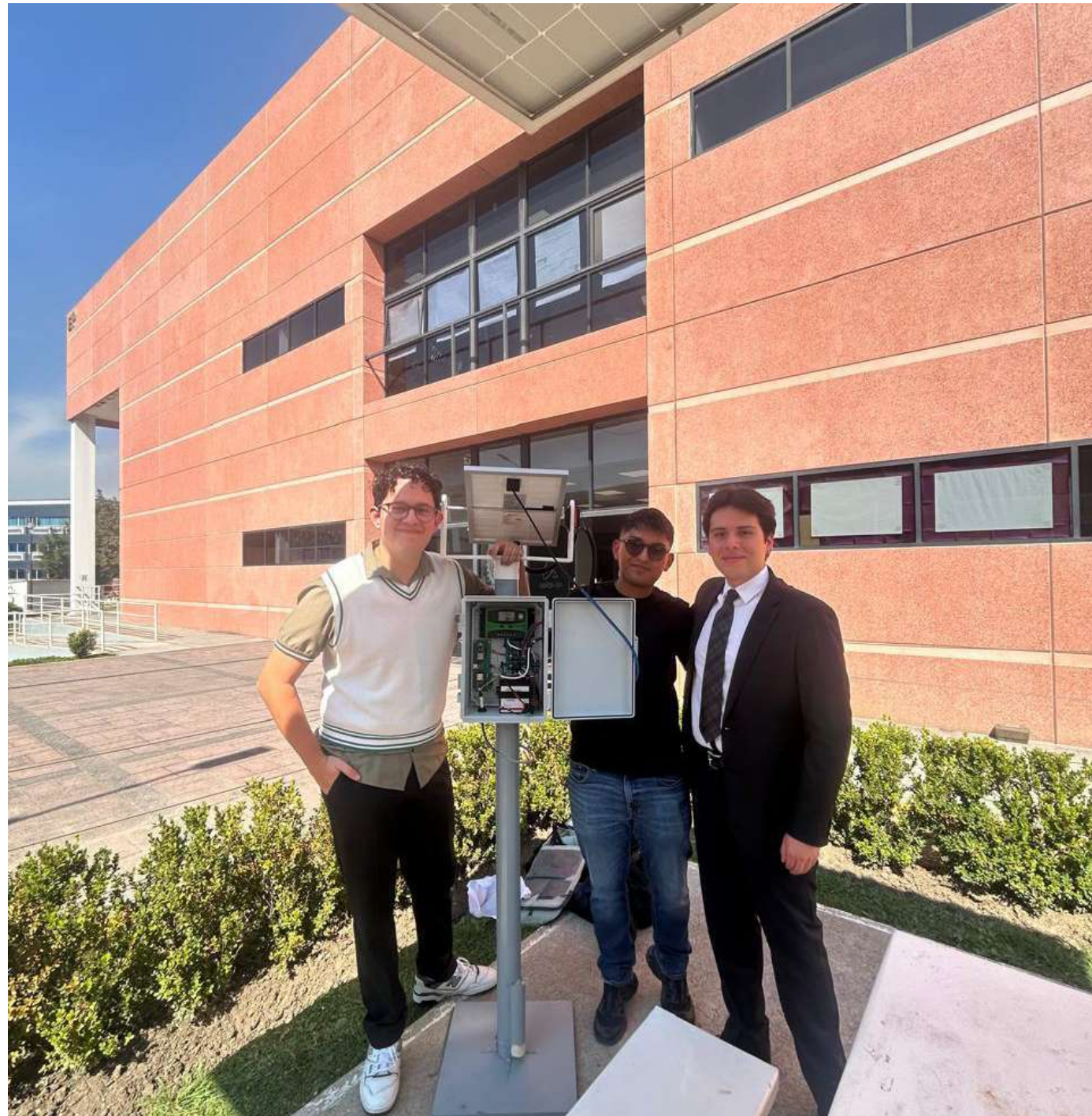
Además, el sistema incorpora un enfoque sustentable: funciona con energía solar y cuenta con un mecanismo de seguimiento solar, lo que le permite operar de manera autónoma, sin depender de la red eléctrica. Esto abre la posibilidad de instalarlo en distintos puntos de la ciudad, incluso en zonas donde la infraestructura es limitada.

Actualmente, el proyecto se encuentra en fase de prototipo funcional y validación. Ya integra los componentes de medición, transmisión y análisis, y sus primeros resultados muestran algo muy relevante: es posible usar la tecnología para anticipar riesgos y generar información útil para prevenir.

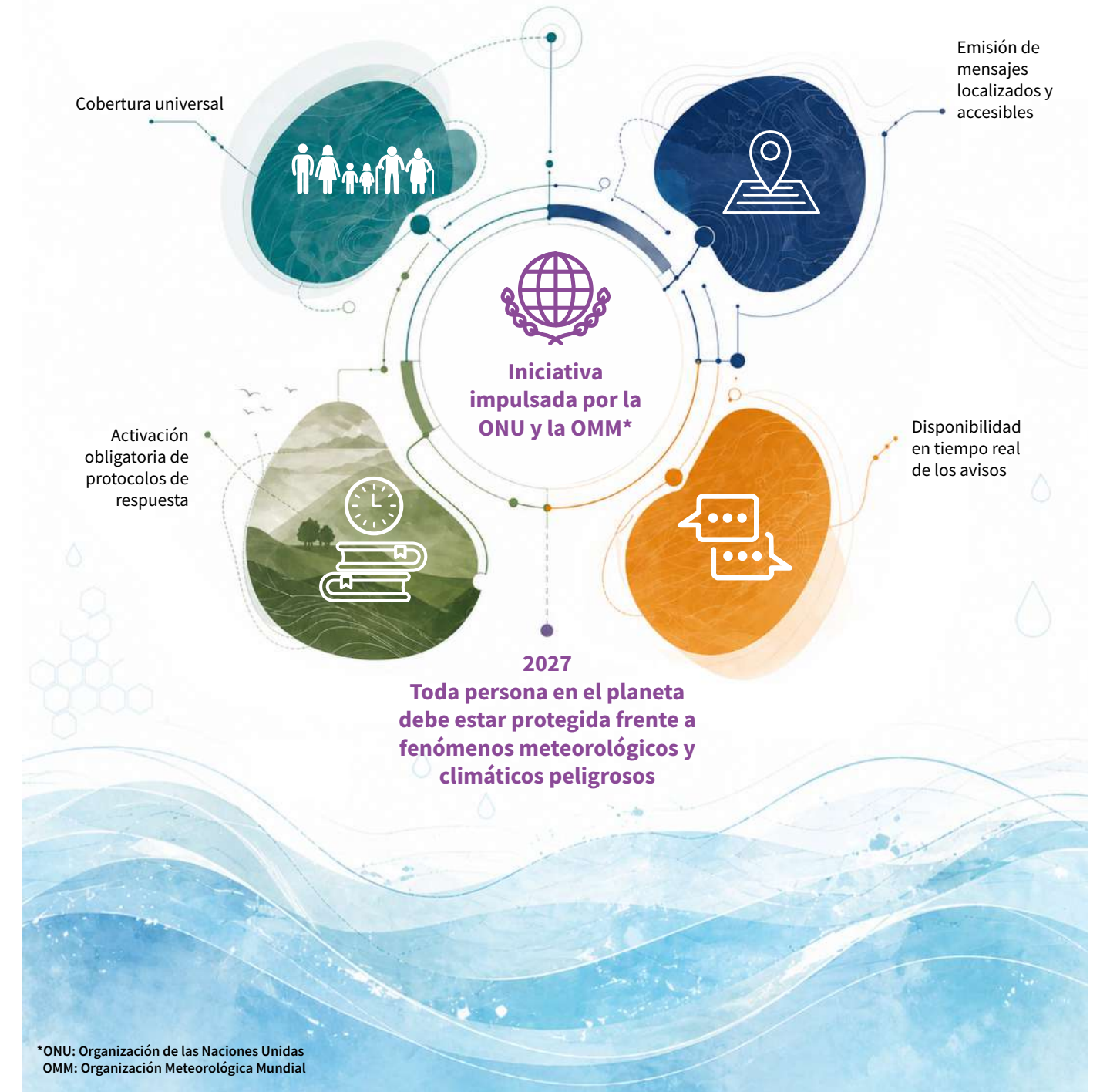
El siguiente paso es llevar esta innovación más allá del prototipo, hacia una red de sensores distribuidos en calles, avenidas y zonas vulnerables. Con ello, se podría contar con información en tiempo real que apoye tanto a las autoridades como a la ciudadanía en la toma de decisiones.

El horizonte es claro: avanzar hacia sistemas de alerta temprana tan confiables y efectivos como los que hoy existen para los sismos. Así como una alerta sísmica puede darnos segundos valiosos para reaccionar, el reto es lograr que, ante lluvias intensas, podamos anticipar inundaciones con el tiempo suficiente para actuar y protegernos.

Este proyecto, desarrollado bajo la asesoría de los doctores Helvio Mollinedo Ponce de León, Miguel Félix Mata Rivera y Roberto Eswart Zagal Flores, es un ejemplo de cómo la ciencia, la ingeniería y la innovación pueden traducirse en soluciones reales que mejoran la vida de las personas y contribuyen a construir ciudades más resilientes, seguras y sostenibles. **BV**

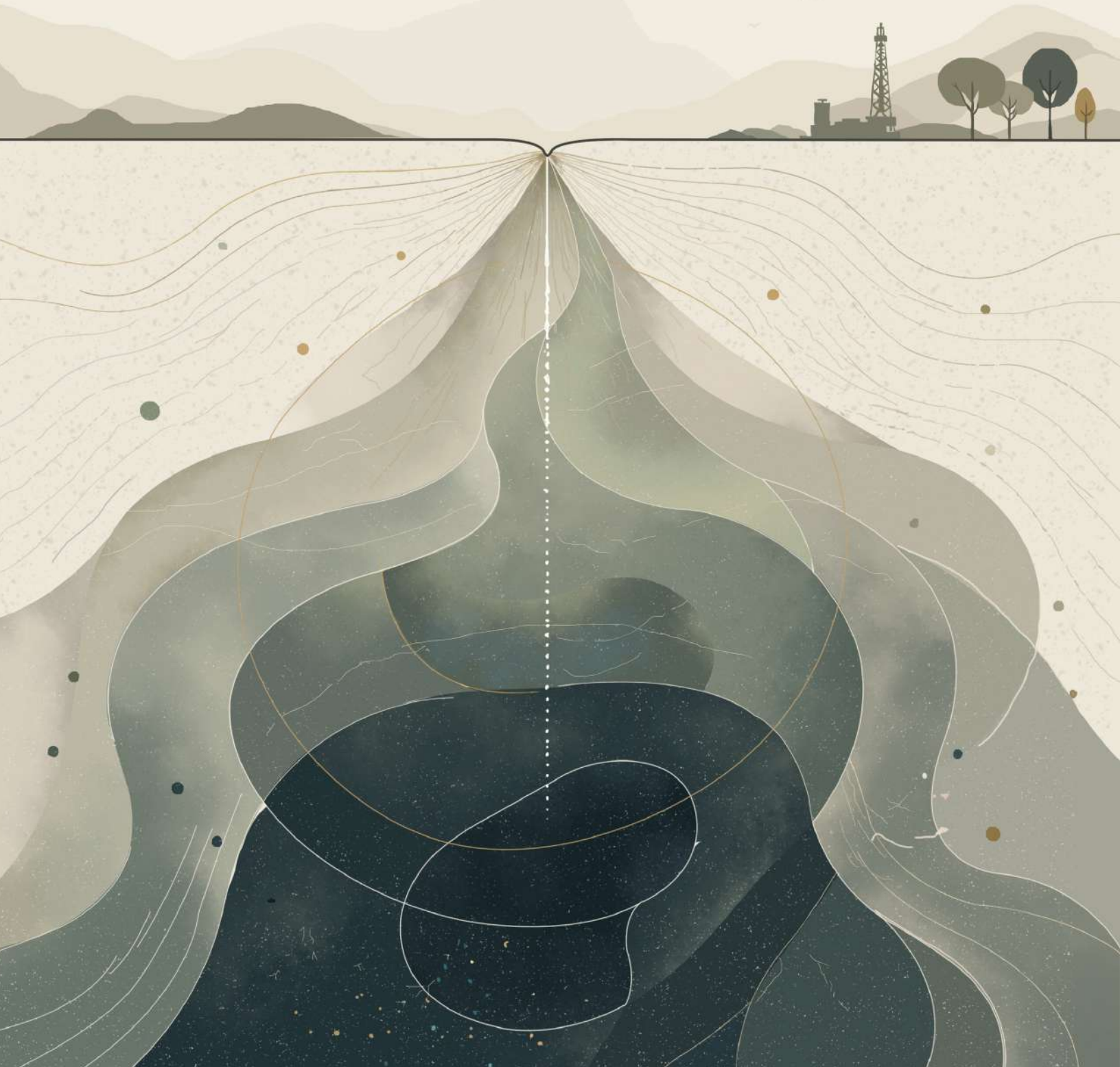


EW4All Early Warnings for All Sistemas de alerta temprana en tiempo real



El fracking en los límites de la sustentabilidad ambiental y la soberanía energética

Por la pluma de: Dr. Rodolfo Lacy Tamayo, Asesor en la CPS



México enfrenta una paradoja estructural en materia energética que hoy refleja tanto su profunda integración económica con Norteamérica como su vulnerabilidad ambiental y tecnológica en materia de hidrocarburos. Entre el 70% y 75% del gas natural consumido en el país es importado, principalmente desde Estados Unidos, y más del 90% de este volumen se asocia a la producción de gas no convencional mediante fracturación hidráulica en cuencas fronterizas como la Pérmica e Eagle Ford, ubicadas en Nuevo México y Texas. Esta situación evidencia no solo una dependencia comercial, sino una brecha tecnológica y operativa significativa. Mientras que la industria estadounidense ha logrado consolidar economías de escala, innovación continua y eficiencia en costos, México no ha desarrollado capacidades equivalentes para implementar esta tecnología de manera competitiva desde PEMEX, aunque lleva décadas obteniendo gas con tecnologías no convencionales como la inyección de nitrógeno en campos maduros del Golfo de México y ha hecho ensayos infructuosos en Chicontepec, Veracruz. En consecuencia, el debate sobre el fracking trasciende la dimensión técnica y se inserta en el ámbito de la soberanía energética y la seguridad nacional.

La fracturación hidráulica se ubica en el centro de un debate multidimensional que involucra consideraciones energéticas, ambientales, sociales y regulatorias. La literatura reciente coincide en que el fracking no es intrínsecamente inviable, pero su sostenibilidad depende de condiciones estrictas de gobernanza, monitoreo y cumplimiento normativo (IEA, 2023; UNEP, 2022). Sin embargo, análisis integradores previos destacan que los impactos deben evaluarse dentro de sistemas socioecológicos complejos, donde las interacciones entre agua, territorio y actividad industrial generan efectos acumulativos difíciles de predecir sin marcos interdisciplinarios (Quinn *et al.*, 2015).

“
... el fracking no es intrínsecamente inviable, pero su sostenibilidad depende de condiciones estrictas de gobernanza, monitoreo y cumplimiento normativo.
”

El recurso hídrico constituye el eje crítico de este debate. La fracturación hidráulica es un proceso intensivo en agua que puede generar presiones adicionales en regiones con estrés hídrico, afectando la disponibilidad para usos prioritarios como consumo humano y agricultura. Es el caso de las cuencas geológicas de Burgos, Salinas o Tampico-Misantla inclusive, donde es posible hacer *fracking* con éxito en México. Estudios recientes enfatizan la necesidad de enfoques de gobernanza hídrica a escala de cuenca hidrológica, apoyados en monitoreo continuo, contabilidad del agua y sistemas de información integrados (OECD, 2020; IEA, 2023). Esta preocupación coincide con evaluaciones realizadas en Canadá, donde se destaca que la disponibilidad y asignación del agua, así como su interacción con otros usuarios, son determinantes clave para la viabilidad del *fracking* (CWN, 2015).

Uno de los aspectos más críticos es el riesgo de contaminación de aguas subterráneas y superficiales. La evidencia reciente confirma que el proceso de fracturamiento en sí, rara vez constituye la fuente directa de contaminación; no obstante, las fallas en la integridad de los pozos en operación o sellados, y los incidentes en superficie representan las principales rutas de riesgo (US EPA, 2020; UNEP, 2022). Estas conclusiones coinciden con estudios que señalan que los impactos más relevantes ocurren en largos periodos de tiempo y a lo largo del ciclo completo de operación, incluyendo almacenamiento, transporte y disposición de fluidos, así como alteraciones del paisaje que afectan la hidrología superficial.

La composición química de los fluidos de fracturación añade una dimensión adicional de complejidad. Estos incluyen compuestos como BTEX, formaldehído, metanol, biocidas e inhibidores de corrosión, además de contaminantes movilizados desde el subsuelo, como metales pesados, sales y materiales radiactivos naturales. La literatura reciente subraya que la transparencia en la divulgación de estos compuestos sigue siendo un reto regulatorio central (NASEM, 2020; UNEP, 2022). En el contexto latinoamericano, instituciones como ASEA en México han avanzado en la regulación de hidrocarburos, pero aún enfrentan desafíos en materia de monitoreo integral, trazabilidad y evaluación de riesgos acumulativos (ASEA, 2021), no digamos en capacidades de inspección y vigilancia directo o a través de expertos acreditados y/o autorizados.

Al mismo tiempo, existen avances hacia el uso de sustancias menos tóxicas. El desarrollo de aditivos basados en materiales de origen natural—como goma guar, derivados de celulosa, enzimas y ácidos orgánicos—refleja una tendencia hacia prácticas de menor impacto químico (*green fracking*) (Stringfellow *et al.*, 2021). No obstante, como señalan análisis sistémicos, la reducción del riesgo ambiental depende más de la gestión integral del proceso que de la sustitución aislada de sustancias (Quinn *et al.*, 2015).

La gestión de aguas residuales constituye uno de los mayores desafíos operativos. Los fluidos de retorno contienen mezclas complejas de hidrocarburos, metales y sales, cuya composición evoluciona en el tiempo. La evidencia reciente indica que los principales eventos de contaminación se asocian a derrames, fugas y disposiciones inadecuadas (IEA, 2023; UNEP, 2022). Este riesgo ha sido ampliamente documentado en estudios que destacan la necesidad de fortalecer prácticas de tratamiento, reutilización y monitoreo, así como de mejorar la disponibilidad de información para la toma de decisiones.

El monitoreo ambiental emerge como un componente central para la gestión de riesgos. Tecnologías como sensores en tiempo real, monitoreo de metano y análisis isotópico permiten mejorar la detección temprana de impactos. Sin embargo, su

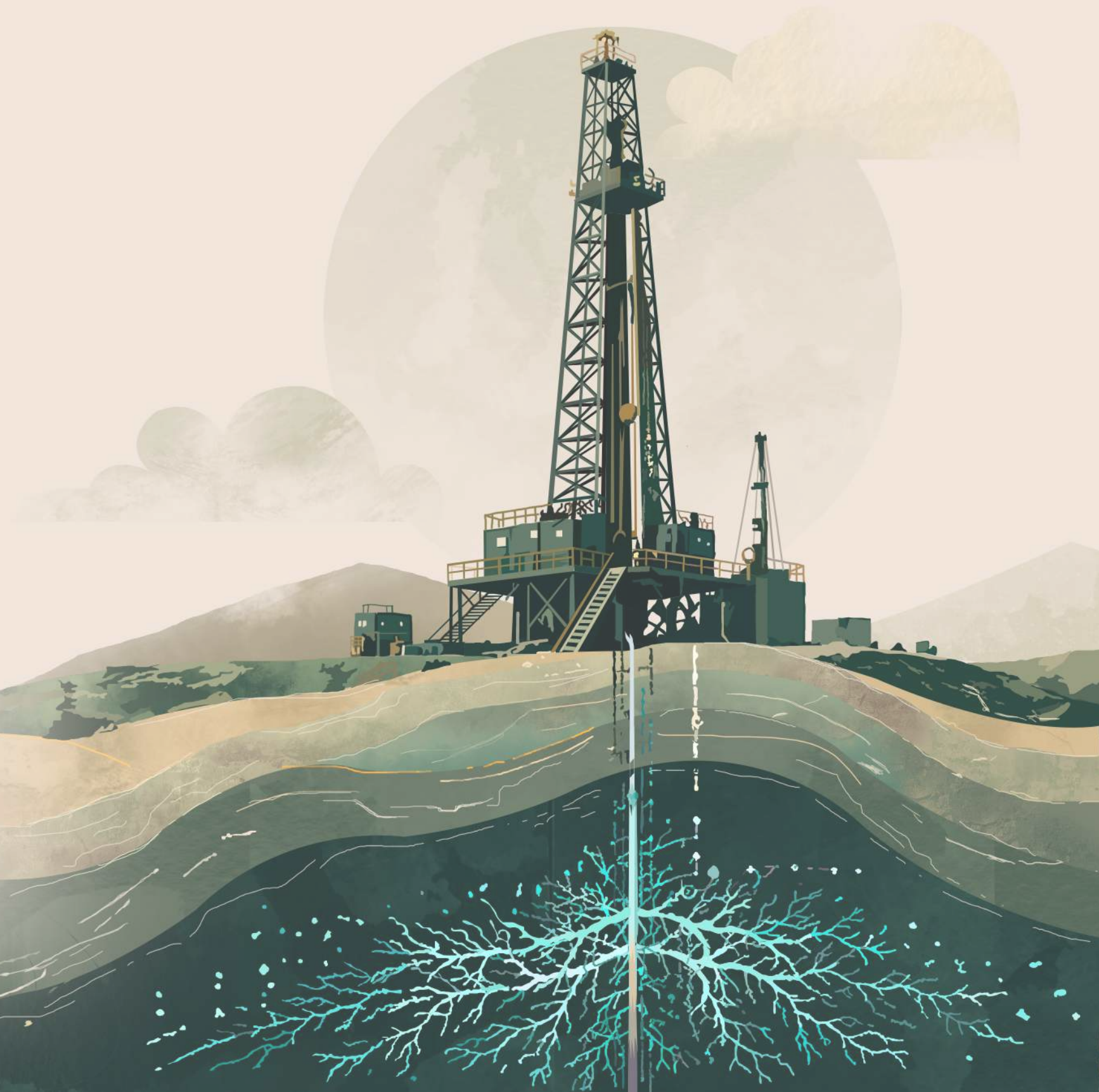
efectividad depende de la existencia de líneas base robustas, cuya ausencia sigue siendo una limitación crítica en muchos países (OECD, 2020; UNEP, 2022). Este vacío ha sido identificado como uno de los principales obstáculos para evaluar impactos acumulativos y fortalecer la regulación ambiental.

En última instancia, la sostenibilidad de la fracturación hidráulica está determinada tanto por factores tecnológicos como institucionales. En América Latina, organismos como CAF y el *Clean Air Institute* han señalado la necesidad de integrar la gestión de contaminantes atmosféricos y climáticos (incluyendo metano y otros contaminantes climáticos de vida corta) en estrategias más amplias de sostenibilidad energética, lo cual es directamente relevante para el *fracking* como fuente significativa de emisiones fugitivas (CAF–CAI, 2022).

“
**Es posible afirmar que se puede realizar
 fracking responsable pero muy difícil aún
 encontrar prácticas consistentes de fracking
 ambientalmente sustentable.**
 ”

La evidencia indica que los mayores riesgos ambientales se derivan de fallas en la implementación, supervisión y cumplimiento regulatorio. La contaminación de acuíferos y cuerpos de agua con hidrocarburos sigue siendo el riesgo más crítico debido a su persistencia y dificultad de remediación. Es posible afirmar que se puede realizar **fracking responsable** pero muy difícil aún encontrar prácticas consistentes de **fracking ambientalmente sustentable**.

En este contexto, la fracturación hidráulica puede entenderse como una prueba de gobernanza ambiental. Su viabilidad no depende únicamente de la tecnología disponible, sino de la capacidad institucional para integrar monitoreo, transparencia, participación social y cumplimiento normativo. Bajo estas condiciones, el *fracking* puede aproximarse a un umbral de aceptabilidad; sin ellas, los riesgos podrían superar los beneficios potenciales. **BV**



México ante su encrucijada energética: entre la inercia fósil y la trayectoria hacia emisiones netas cero

Por la pluma de: Mtro. Adán Enrique García Ramos, Maestro en Economía por el CIDE y Dr. Alkaid Castro Hernández, Doctor en Ciencias Económicas por la UAM

Opiniones del cambio: *Trascendiendo límites*

México es Parte del Acuerdo de París, adoptado en 2015 durante la XXI Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (COP21) y en vigor desde 2016, cuyo objetivo central es limitar el aumento de la temperatura global a 1.5 °C respecto a niveles preindustriales, así como fortalecer la resiliencia y promover trayectorias de desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (UNFCCC, 2015).

En este marco, las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) constituyen el principal instrumento de planeación climática de los países. En el caso de México, la actualización más reciente —NDC 3.0, presentada el 17 de noviembre de 2025— consolida la trayectoria de mitigación del país, ajustando sus metas conforme a las condiciones nacionales y a la evolución del contexto internacional (SEMARNAT, 2025).

Para 2030, México mantiene metas de reducción del 22% no condicionado y hasta 36% condicionado respecto al escenario tendencial (*business-as-usual*, *BAU*), el cual estima emisiones brutas de 991 MtCO₂e, con metas de reducción a 773 MtCO₂e y 634 MtCO₂e, respectivamente (SEMARNAT, 2020). Para 2035, la ambición se incrementa, estableciendo metas de emisiones netas entre 364 y 404 MtCO₂e en el escenario no condicionado, y entre 332 y 363 MtCO₂e en el condicionado, lo que implica un fortalecimiento de los sumideros de carbono y de las acciones de mitigación (SEMARNAT, 2025).

De manera consistente con las tendencias globales, la NDC 3.0 incorpora el objetivo de alcanzar emisiones netas cero hacia 2050, alineando a México con una dinámica internacional en la que más de 140 países —responsables de aproximadamente el 90% de las emisiones globales— han adoptado metas de neutralidad climática, predominantemente con horizonte a mediados de siglo (UNFCCC, 2023).

“

De manera consistente con las tendencias globales, la NDC 3.0 incorpora el objetivo de alcanzar emisiones netas cero hacia 2050, alineando a México con una dinámica internacional en la que más de 140 países —han adoptado metas de neutralidad climática...

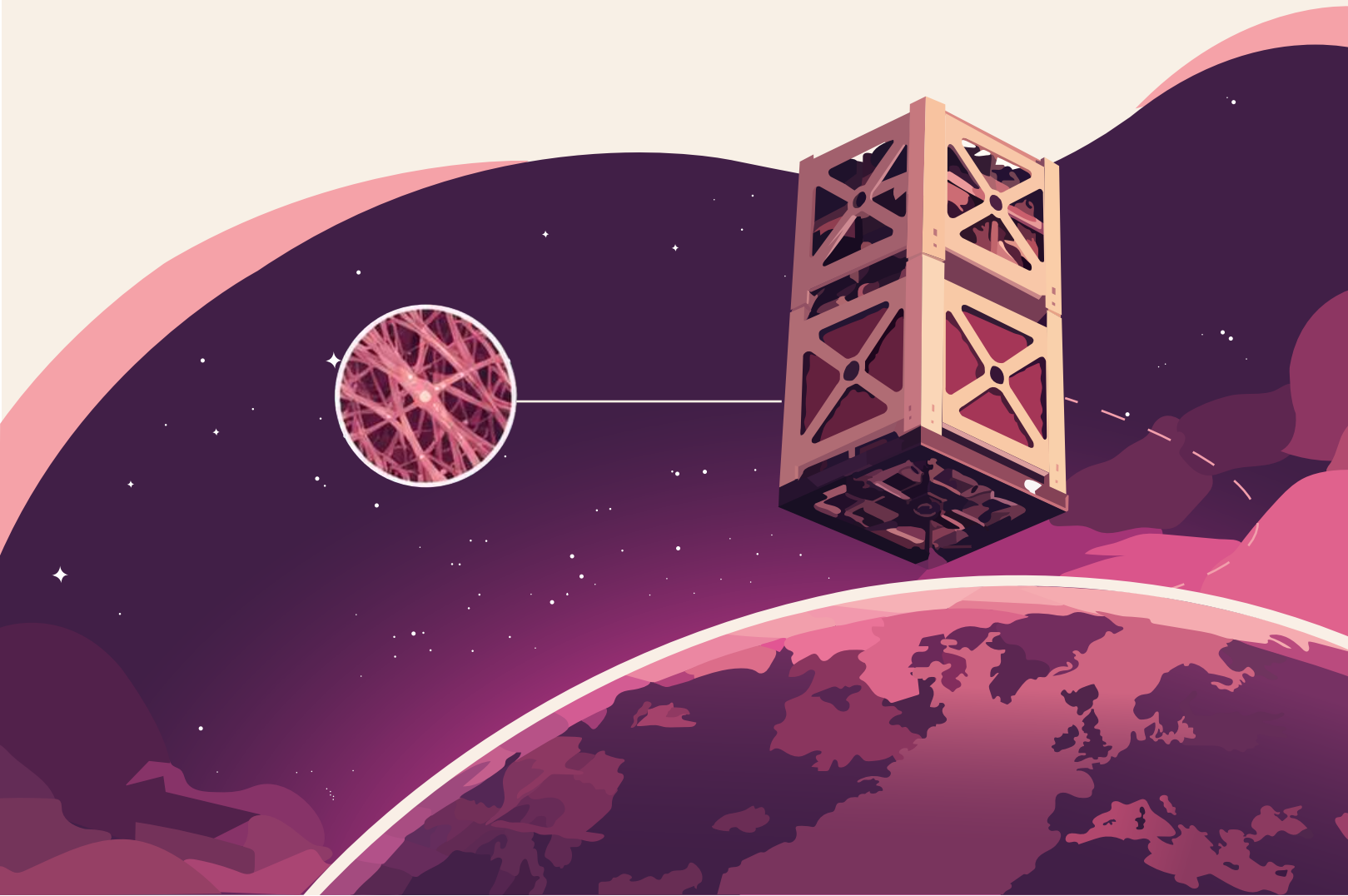
”

Desde una perspectiva estructural, el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI) muestra que, entre 1990 y 2024, el sector energía ha concentrado en promedio el 67% de las emisiones brutas, seguido por agricultura (19%), procesos industriales y uso de productos (9%) y residuos (6%) (SEMARNAT, varios años). Estas proporciones, en conjunto con las absorciones derivadas del uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura, permiten caracterizar el balance neto de emisiones del país (véase Figura 2).

En este contexto, la política climática nacional tiene en el sector energético su principal ámbito de intervención. Para el cumplimiento de las metas establecidas, México dispone de instrumentos de política climática tanto no económicos como económicos. Los primeros comprenden la regulación y las normas; los segundos incluyen mecanismos de mercado y señales de precio, como el impuesto al carbono y el Sistema de Comercio de Emisiones (SCE) (SEMARNAT, 2020). Su efectividad depende de la adecuada identificación de las fuentes de emisión y de las características de cada sector, con el fin de lograr reducciones costo-efectivas y minimizar distorsiones en las decisiones de los agentes económicos.

Innovación politécnica: del aula al espacio... nanosatélites con materiales sustentables

Por la pluma de: Comité Editorial de BV



¿Es posible pensar en tecnología espacial más amigable con el planeta?

En el IPN, la respuesta empieza a construirse desde las aulas.

[Estudiantes del Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos \(CECyT\) No. 11 “Wilfrido Massieu” desarrollaron un nanosatélite utilizando materiales de origen natural](#), particularmente fibras vegetales, como alternativa a componentes convencionales de origen sintético.

Más allá del logro tecnológico, el proyecto introduce un cambio de enfoque con implicaciones claras en sustentabilidad:

- Menor dependencia de materiales fósiles, al sustituir insumos derivados del petróleo.
- Reducción de la huella ambiental, especialmente en etapas de extracción y manufactura.
- Potencial de biodegradabilidad o disposición final menos impactante, un tema crítico en el creciente problema de residuos tecnológicos y espaciales.

En términos simples: innovaciones como esta abren la posibilidad de que incluso sectores altamente especializados, como el aeroespacial, comiencen a transitar hacia modelos más cercanos a la economía circular.

El verdadero impacto de este desarrollo trasciende el nanosatélite en sí, al evidenciar la formación de nuevas generaciones que integran ciencia, creatividad y responsabilidad ambiental desde etapas tempranas, posicionando al Politécnico no solo como un actor en la innovación tecnológica, sino como una institución que comienza a redefinir sus bases al incorporar la sustentabilidad como un eje central del desarrollo científico. **BV**



Alejandro Cuautle Estrada,
Martín Guzmán Baeza y
Bryan Quintanar Abarca,
especialistas del IPN.



La innovación de materiales en la pintura mural: el IPN como laboratorio de la técnica artística

Por la pluma de: José Antonio Cruz González, Director de Difusión Cultural (DDC-IPN) y Samantha Leyva Cortés, adscrita a la DDC-IPN

El arte que nos habita: Patrimonio e identidad politécnica

El muralismo ha sido un elemento central en la configuración simbólica y pedagógica nacional y del Instituto Politécnico Nacional a lo su historia (Valencia Flores y Robles Colina, 2021). No obstante, este texto no se inscribe en una revisión historiográfica del muralismo, más bien, propone un desplazamiento analítico, es decir, se plantea pensar esta práctica más allá de su dimensión artística para situarla en la intersección entre arte, técnica e innovación de materiales industriales aplicados en la pintura mural.

Para ello, se plantean dos momentos analíticos que no responden a una lógica cronológica estricta, sino a formas diferenciadas pero al mismo tiempo complementarias para comprender la relevancia del IPN dentro del auge y desarrollo del muralismo.

El muralismo ocupa un lugar central en la historia del arte mexicano, no solo por su relevancia estética, sino por su papel en la construcción de imaginarios asociados a la identidad nacional. Más que un movimiento artístico en sentido restringido, el muralismo se configura como una práctica artística y cultural que articula dimensiones políticas, educativas y sociales. En este sentido, puede entenderse como un desplazamiento respecto de las tradiciones artísticas de corte eurocentrado y burgués, al proponer un arte público orientado hacia amplios sectores de la población y vinculado con los procesos históricos del país (Siqueiros, 1923).

En este desplazamiento hacia la dimensión técnica del muralismo, la práctica de David Alfaro Siqueiros resulta clave. Su estancia en Estados Unidos, en los años treinta, lo coloca en contacto directo con materiales industriales y procesos técnicos de distintas industrias, como la automotriz. Estas inquietudes favorecieron un espacio de experimentación denominado pintura accidental, donde las lacas de nitrato de celulosa, es decir, las piroxilinas o algodón pólvora fueron fundamentales como innovación en las

disciplinas plásticas (Romero, 2015). La incorporación de este material al muralismo por parte de David Alfaro Siqueiros implica un desplazamiento significativo hacia la modernidad y la técnica, alejándose de las técnicas y materiales tradicionales (Espinosa, 2022).

Siguiendo a Valencia y Robles (2021), el interés de David Alfaro Siqueiros por la experimentación con nuevos materiales, así como su preocupación por la formación de nuevas generaciones de artistas, se consolidó a su regreso a México en la década de 1940. Este impulso coincidió con la creación del IPN en 1936 y con el desarrollo de sus primeras instalaciones en el Casco de Santo Tomás, configurando un entorno particularmente propicio para el cruce entre arte, ciencia y técnica.

En este contexto, Siqueiros junto a figuras como José Clemente Orozco, Diego Rivera y Gerardo Murillo impulsaron, el diálogo con Jaime Torres Bodet para la creación de un espacio dedicado a la investigación de materiales aplicados a las artes plásticas. A partir de esta iniciativa, el entonces Director General del IPN, Manuel Sandoval Vallarta, en 1946 fomentó el establecimiento en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (ESIA) el Subinstituto de Ensayo de Materiales de Pintura Mural, Decorativa e Industrial, de Sintéticos y Plásticos, orientado al ensayo de materiales pictóricos, que posteriormente daría lugar a un espacio más amplio de experimentación en torno a pinturas murales, decorativas e industriales (Valencia Flores y Robles Colina, 2021).

Posteriormente cambió su nombre a Taller de Ensayo de Materiales de Pintura y Plásticos, nombre que se mantuvo hasta finales de 1980, teniendo al frente a José L. Gutiérrez. Este taller impartió estudios teóricos sobre la física y la química de las superficies por pintar, así como de los pigmentos y colorantes. Entre los profesores se encontraron: David Alfaro Siqueiros, Gerardo Murillo, Humberto Verdía, Federico Silva, Luis Arenal, Joel Marroquín, entre otros.



A partir de la experimentación con nuevos materiales industriales, Gutiérrez desarrolló una formulación innovadora que combinaba resinas acrílicas con pigmentos como anilinas y tierras, lo que permitió ampliar significativamente las posibilidades técnicas de la pintura. Este avance se inscribe en un momento de transformación en las artes, marcado por la incorporación de materiales sintéticos o **plásticos**. Diversos testimonios atribuidos al muralista Arnold Belkin destacan que esta pintura —conocida como **Politec**— comenzó a producirse en la Ciudad de México y representó una novedad en su tiempo, al introducir una alternativa acrílica que posteriormente se expandiría y adoptaría en distintos contextos internacionales bajo diversas denominaciones.

Será hacia 1952 cuando esta articulación alcance mayor desarrollo. David Alfaro Siqueiros realiza el mural El hombre, amo y no esclavo de la técnica en el entonces Internado Politécnico, hoy Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB). Esta obra responde a un contexto atravesado por las transformaciones derivadas de la Segunda Guerra Mundial, en el que emerge una preocupación crítica por los alcances y riesgos del desarrollo científico y tecnológico. En esta

misma línea se inscribe el mural de 1953 La técnica al servicio de la paz de Federico Silva, realizado en la ESIA, actualmente Escuela Superior de Enfermería y Obstetricia (ESEO).

En este sentido, y siguiendo a Walter Benjamin (2003), la técnica no puede entenderse únicamente como un medio subordinado a la creación artística, sino como un elemento que transforma las condiciones mismas de la obra. Así, la incorporación de materiales industriales como la piroxilina y más adelante la pintura Politec, contribuyeron al desplazamiento del muralismo hacia un campo más amplio, en el que convergen prácticas artísticas, saberes técnicos y desarrollos científicos, configurándolo como una experiencia estética y tecnológica de carácter multidisciplinar.

Finalmente, resulta pertinente reconocer el papel del IPN como un agente fundamental en la articulación entre arte, ciencia y técnica. Más que un soporte institucional, el instituto se configura como un entorno donde el muralismo se redefine, desplazándose de una práctica predominantemente artística hacia un campo de experimentación técnica que incide en su desarrollo y permanencia dentro de la cultura visual en México. **BV**



Federico Silva. La técnica al servicio de la paz (1953), mural.



David Alfaro Siqueiros. El hombre, amo y no esclavo de la técnica (1952), mural.



De 1936 al mañana: la evolución energética del Politécnico

En 1936, cuando nació el Instituto Politécnico Nacional, México tomó una decisión de fondo: formar su propio talento para entender y aprovechar sus recursos estratégicos, particularmente el petróleo. Desde entonces, en aulas, talleres y laboratorios, se han formado generaciones de ingenieros, científicas y técnicos que no solo acompañaron el desarrollo energético del país, sino que ayudaron a construirlo desde adentro. Hoy, en un contexto muy distinto, marcado por la urgencia climática y la transición hacia modelos más sostenibles, esa misma vocación se mantiene, pero con un nuevo horizonte: el Politécnico no solo mira con orgullo su papel en la historia petrolera de México, sino que asume el reto de transformar ese legado en conocimiento, innovación y soluciones para el presente, incorporando la sustentabilidad, la eficiencia energética y la economía circular como ejes centrales. Así, la huella que inició hace nueve décadas sigue evolucionando, con la misma convicción de siempre: poner la técnica, con responsabilidad y sentido social, al servicio de la patria, del planeta y de su sustentabilidad.

Brújula Verde




BRÚJULA VERDE

ACCIONES QUE DEJAN HUELLA

REDES SOCIALES

Síguenos en nuestras redes sociales, y sé parte de una comunidad que busca cambiar el entorno

 BrujulaVerde

 brujulaverde_ipn

Escanéame



Fuentes de consulta

De lo lineal a lo circular en el IPN

- » Congreso de los Estados Unidos Mexicanos. (2026). *Ley General de Economía Circular*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEC.pdf>
- » Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos*. Ciudad de México: Gobierno de México. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>

Fracking: del rechazo automático a la evaluación responsable

- » International Energy Agency (IEA). (2023). *Mexico energy profile: Natural gas*.
- » Makki, S., Maalouf, E., & Yehya, A. (2025). Review of the environmental and health risks of hydraulic fracturing fluids. *Heliyon*, 11(1), e40883. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40883>
- » Li, C., et al. (2025). Current status and future directions of unconventional oil and gas wastewater treatment. *Water Research*, 277, 123335.
- » Schultz, R., et al. (2025). The bound growth of induced earthquakes could de-risk hydraulic fracturing. *Communications Earth & Environment*, 6.
- » Secretaría de Energía (SENER). (2024). *Recursos prospectivos de hidrocarburos en México*.

Luz que transforma: una solución real para tratar aguas residuales desde su origen

- » Jari, Y., Najid, N., Necibi, M. C., Gourich, B., Vial, C., Elhali, A., et al. (2025). A comprehensive review on TiO₂-based heterogeneous photocatalytic technologies for emerging pollutants removal from water and wastewater: From engineering aspects to modeling approaches. *Journal of Environmental Management*, 373, 123703. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123703>
- » Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019). *Estadísticas del agua en México*. Ciudad de México: SEMARNAT.

El fracking en los límites de la sustentabilidad ambiental y la soberanía energética

- » Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA). (2021). *Regulación ambiental aplicable a hidrocarburos en México*. Gobierno de México.
- » CAF – Banco de Desarrollo de América Latina & Clean Air Institute. (2022). *Contaminantes climáticos de vida corta y calidad del aire en América Latina*.
- » Canadian Water Network (CWN). (2015). *Water and hydraulic fracturing: Where knowledge can best support decisions in Canada*.
- » International Energy Agency (IEA). (2023b). *The oil and gas industry in net zero transitions*. <https://www.iea.org>
- » National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM). (2020). *Hydraulic fracturing and water quality*. <https://doi.org/10.17226/25947>
- » Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2020). *Water governance in OECD countries*. OECD Publishing.
- » Quinn, M. S., et al. (2015). *Landscape impacts of hydraulic fracturing development and operations on surface water and watersheds*. Canadian Water Network.
- » Stringfellow, W. T., et al. (2021). Green chemistry approaches to hydraulic fracturing fluids. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100404>
- » United Nations Environment Programme (UNEP). (2022). *Environmental impacts of fossil fuel extraction*. <https://www.unep.org>
- » U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2020). *Hydraulic fracturing and drinking water resources*. <https://www.epa.gov>

México ante su encrucijada energética: entre la inercia fósil y la trayectoria hacia emisiones netas cero

- » Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2025). *Actualización de la contribución determinada a nivel nacional (NDC 3.0)*. <https://unfccc.int/sites/default/files/2025-11/NDC%203.0%20Me%CC%81xico%20spanish.pdf>
- » Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). *Contribución determinada a nivel nacional de México*.
- » Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (s. f.). *Inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero*.



- » Secretaría de Energía (SENER). (2023). *Balance nacional de energía 2022*. <https://www.gob.mx/sener/documentos/balance-nacional-de-energia>
- » United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2015). *Paris Agreement*. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- » United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2023). *For a livable climate: Net-zero commitments must be backed by credible action*. <https://www.un.org/en/climatechange/net-zero-coalition>

La innovación de materiales en la pintura mural: el IPN como laboratorio de la técnica artística

- » Benjamin, W. (2003). *La obra de arte en la época de su reproductibilidad técnica*. Ítaca.
- » Corral Guillé, G. (2024). Ciencia y tecnología en los murales de la Ciudad de México (1933–1952). Andamios. *Revista de Investigación Social*, 21(54), 303–332. <https://doi.org/10.29092/uacm.v21i54.1072>
- » Espinosa, M. T. (2022). Muralismo, indicios, genealogías: David Alfaro Siqueiros y José L. Gutiérrez, pioneros de nuevos materiales plásticos. *Discurso Visual. Revista de Artes Visuales*, 50, 67–75. https://www.discursovisual.net/dvweb50/TC_50-04.html
- » Romero, L. (2015, agosto 15). La ciencia detrás de la pintura accidental de Siqueiros. *Gaceta UNAM*, (4714), 12–13. <http://www.acervo.gaceta.unam.mx/index.php/gum10/issue/view/4932/showToc>
- » Siqueiros, D. A. (1923). *Manifiesto del Sindicato de Obreros Técnicos, Pintores y Escultores*. Publicado en *El Machete* (1924). <https://icaa.mfah.org/s/es/item/751080>
- » Valencia Flores, A. O., & Robles Colina, M. Á. (2021). El muralismo en el Instituto Politécnico Nacional: Ciencia, técnica y revolución en la construcción de un imaginario institucional. *Innovación Educativa*, 21(87), 77–91. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-26732021000300077

¿SABÍAS QUÉ?

El *Avicennia germinans*

presenta **criptoviviparidad**: sus semillas comienzan a desarrollarse dentro del fruto, aún en el árbol, lo que les permite caer con ventaja para sobrevivir en ambientes salinos y cambiantes.

