

8. Puebla: responsabilidad empresarial y colaboración intersectorial para el saneamiento del río Atoyac*



CHRISTIAN MUÑOZ SÁNCHEZ**

EUGENE HAKIZIMANA***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.493.08>

Resumen

La Cuenca Alta del Atoyac concentra numerosas actividades urbanas e industriales del centro de México y, al mismo tiempo, constituye uno de los sistemas fluviales más afectados por descargas municipales, industriales, agrícolas y ganaderas, así como por la disposición de residuos sólidos. El objetivo del capítulo es analizar, mediante una investigación teórica y documental, la responsabilidad empresarial y las condiciones necesarias para desarrollar una colaboración intersectorial orientada al saneamiento. La revisión integra aportes sobre responsabilidad ambiental corporativa, justicia hídrica, gobernanza colaborativa, tratamiento de aguas residuales, monitoreo de cuencas y restauración. Los resultados muestran que la cooperación voluntaria no puede sustituir el cumplimiento normativo ni la reparación de los daños. El saneamiento exige responsabilidades verificables, control en la fuente, inversión en infraestructura, apoyo a las pequeñas empresas e información pública confiable. Se propone un modelo basado en prevención, regularización diferenciada, tratamiento adecuado, infraestructura compartida, monitoreo independiente, participación comunitaria

* Derivado del proyecto IND-2026-0592: Propuesta de tratamiento sostenible de agua para mejorar la competitividad de empresas del sector farmacéutico de la Ciudad de México.

** Doctor en Ciencias Sociales. Profesor-investigador del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8692-4252> ; Scopus ID: 57209292143 ; correo electrónico: cmunozs@ipn.mx

*** Doctor en Ciencias Económicas. Profesor-investigador en la Escuela Superior de Comercio y Administración (unidad Santo Tomás), Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1804-1516> ; Scopus ID: 57192373996

y financiamiento multiactor. Se concluye que la legitimidad de la colaboración depende de fortalecer la supervisión pública, reducir de manera demostrable las cargas contaminantes y proteger la salud y los derechos de las comunidades.

Palabras clave: *responsabilidad empresarial, saneamiento, contaminación industrial, río Atoyac.*

Introducción

El río Atoyac es uno de los sistemas hidrológicos más importantes de Puebla y Tlaxcala. Nace en las laderas de la Sierra Nevada, atraviesa territorios rurales, urbanos e industriales y recibe caudales de ríos, barrancas, canales y sistemas de drenaje hasta llegar al embalse Manuel Ávila Camacho, conocido como Valsequillo. La cuenca pertenece a la Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas y sostiene actividades agrícolas, industriales, comerciales y urbanas, además de servicios ecosistémicos para numerosas comunidades (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2022, 2026a).

El proyecto federal de saneamiento y restauración del Alto Atoyac comprende 70 municipios vinculados con los ríos Zahuapan, Atoyac y Alseseca: 48 en Tlaxcala y 22 en Puebla. Esta amplitud territorial muestra que el problema no puede resolverse únicamente desde la ciudad de Puebla ni mediante intervenciones aisladas en determinados tramos. Las descargas y alteraciones originadas en la parte alta se acumulan y afectan a comunidades y ecosistemas situados aguas abajo (Semarnat, 2026a, 2026b).

La cuenca ha experimentado un prolongado proceso de urbanización e industrialización. A lo largo de sus márgenes y afluentes se localizan corredores textiles, químicos, petroquímicos, metalúrgicos, alimentarios, automotrices y de autopartes, así como instalaciones dedicadas a la fabricación de papel y bebidas. Estas actividades han contribuido al desarrollo económico regional, pero también generan efluentes con materia orgánica, sólidos, grasas, colorantes, solventes, metales y otras sustancias cuya composición y peligrosidad varían según el sector (Covarrubias-López et al., 2023; Semarnat, 2022).

La contaminación del Atoyac no puede atribuirse exclusivamente a la industria. También intervienen las descargas domésticas sin tratamiento, la operación deficiente de plantas municipales, las conexiones irregulares, los sistemas de drenaje inadecuados, los residuos sólidos, los tiraderos clandestinos, la ganadería cercana a los cauces, la escorrentía agrícola, la ocupación de zonas federales y la pérdida de vegetación ribereña. La evaluación federal identificó 976 descargas directas de aguas residuales, 685 depósitos de desechos y escombros, 11 fosas sépticas, 414 invasiones de zona federal y 60 taponamientos, además de diversos sitios que requieren atención ambiental y reforestación (Comisión Nacional del Agua [Conagua], 2025).

La multiplicidad de fuentes impide reducir el problema a una dicotomía entre empresas y gobierno. El saneamiento exige que las industrias prevengan y traten la contaminación de sus procesos; que los municipios y organismos operadores recolecten y traten las aguas residuales domésticas; que las autoridades federales y estatales regulen, inspeccionen y monitoreen; y que la sociedad participe en la disposición adecuada de residuos, la vigilancia territorial y la rendición de cuentas. Se requieren responsabilidades diferenciadas, pero coordinadas dentro de una estrategia común (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2024; Semarnat, 2024).

La evidencia científica confirma la gravedad del deterioro. Covarrubias-López et al. (2023) evaluaron la contaminación antropogénica en ríos y cuerpos de agua del Área Metropolitana de Puebla e identificaron parámetros fisicoquímicos fuera de los límites aplicables, además de respuestas citotóxicas en el biomodelo utilizado. El estudio relacionó los niveles de contaminación con la concentración poblacional y la densidad de establecimientos industriales en zonas conectadas con los ríos Rabanillo y Atoyac y con las presas Echeverría y Covadonga.

La contaminación constituye también un problema de salud pública. Las comunidades afectadas reportan malos olores, cambios de color del agua, enfermedades, exposiciones ocupacionales, daños económicos a la agricultura y falta de comunicación clara sobre los riesgos. Svarch Pérez et al. (2025) muestran que habitantes y servidores públicos de la Cuenca Alta del Atoyac perciben un riesgo elevado, por lo que se requieren mejores mecanismos de regulación sanitaria, comunicación de riesgos, coordinación multinivel y prevención.

Los efectos económicos tampoco son menores. La contaminación genera costos de atención médica, pérdida de productividad, daños a los cultivos, mayores necesidades de tratamiento, disminución del valor inmobiliario y pérdidas de biodiversidad, turismo y oportunidades de uso del agua. Estos costos se distribuyen de forma desigual, pues con frecuencia recaen en hogares, productores y comunidades que no recibieron la mayor parte de los beneficios del desarrollo industrial (Ibarrarán et al., 2021; Mitchell y Rabassa, 2024).

En 2017, la Comisión Nacional de los Derechos Humanos emitió la Recomendación 10/2017 por violaciones a los derechos a un medio ambiente sano, al saneamiento del agua y al acceso a la información relacionadas con la contaminación de los ríos Atoyac, Xochiac y sus afluentes. La recomendación se dirigió a autoridades federales, estatales y municipales y documentó deficiencias de inspección, tratamiento, coordinación y protección de las poblaciones de Puebla y Tlaxcala (Comisión Nacional de los Derechos Humanos [CNDH], 2017).

Los acuerdos, grupos de trabajo y programas posteriores no han sido suficientes para resolver un problema de esta magnitud. En 2024 se celebraron reuniones de seguimiento de la recomendación, centradas en el uso de recursos para drenaje, tratamiento y saneamiento. Asimismo, el Programa de Acciones de Saneamiento buscó coordinar la intervención de autoridades ambientales y fortalecer la participación social tanto en la parte alta como en la baja del río (Semarnat, 2024).

La restauración del Atoyac se incorporó entre los proyectos prioritarios de la administración federal iniciada en 2024. Las acciones comprenden rehabilitación y construcción de plantas de tratamiento y colectores, humedales, monitoreo de la calidad del agua, restauración de riberas, reforestación, remediación de pasivos y trabajo con las comunidades. Este enfoque reconoce la necesidad de combinar infraestructura convencional, soluciones basadas en la naturaleza y coordinación institucional y social (Semarnat, 2026a, 2026b).

El sector productivo ha comenzado a participar en reuniones de diagnóstico, actividades de capacitación y acciones de saneamiento. En octubre de 2025, autoridades de Puebla, cámaras empresariales y representantes de empresas revisaron las causas de la contaminación y las vías para cumplir

la normativa. El informe reconoció la coexistencia de descargas industriales y municipales y planteó que los establecimientos incumplidos regularizaran su situación antes de octubre de 2026 (Gobierno del Estado de Puebla, 2025).

La participación empresarial debe evaluarse con criterios rigurosos. La cooperación no puede utilizarse para sustituir inspecciones, negociar límites menos estrictos, evitar sanciones ni presentar actividades de limpieza como equivalentes a la prevención de descargas. Aunque una empresa financie la restauración de una ribera, conserva la obligación de tratar sus efluentes, informar sus emisiones y reparar los daños atribuibles a sus operaciones (Mustafa et al., 2023; Singh et al., 2023).

El capítulo analiza los principios y dimensiones de la responsabilidad ambiental empresarial y propone un modelo de colaboración intersectorial para el saneamiento del río Atoyac en Puebla. La pregunta guía es la siguiente: ¿qué responsabilidades, instrumentos y mecanismos de coordinación pueden articularse para que la participación empresarial contribuya efectivamente al saneamiento, sin debilitar el cumplimiento obligatorio ni trasladar costos al Estado y a las comunidades?

La premisa central es que la recuperación del Atoyac depende de la interacción entre regulación firme y colaboración. La regulación sin capacidad técnica y financiera produce cumplimiento parcial; la cooperación sin inspección ni sanciones puede derivar en voluntarismo, simulación o lavado verde. El modelo debe integrar prevención, cumplimiento, incentivos, asistencia técnica, infraestructura, transparencia, participación comunitaria y reparación.

Aproximación teórica y conceptual

La responsabilidad ambiental empresarial comprende las obligaciones, políticas y prácticas mediante las cuales una organización identifica, previene, controla, comunica y repara los impactos ambientales asociados con sus actividades. No se limita al cumplimiento formal de permisos, sino que debe incorporarse al diseño de inversiones, procesos productivos, decisiones

tecnológicas, contratación de proveedores, gestión de riesgos y relaciones con las comunidades (Liu, 2023; Mustafa et al., 2023).

El nivel mínimo es el cumplimiento normativo. Las empresas deben caracterizar sus efluentes, contar con permisos, medir caudales, operar infraestructura de tratamiento y respetar los límites de descarga. La NOM-001-SEMARNAT-2021 actualizó los límites permisibles para descargas en cuerpos receptores propiedad de la nación e incorporó parámetros y métodos destinados a fortalecer la protección de los ecosistemas y la salud (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2022).

El cumplimiento de una norma no significa que el riesgo desaparezca. Los efectos acumulativos dependen del número de descargas, el caudal estacional del río, la persistencia de las sustancias y la vulnerabilidad de las poblaciones. La suma de numerosas descargas urbanas e industriales puede generar una carga incompatible con la capacidad de asimilación del cuerpo receptor, incluso cuando cada efluente cumple individualmente determinados límites (Covarrubias-López et al., 2023; Singh et al., 2023).

La prevención es un componente esencial de la responsabilidad empresarial. Implica evitar la generación innecesaria de contaminantes, sustituir sustancias peligrosas, separar corrientes, mantener los equipos y desarrollar sistemas de contención y respuesta. En numerosos casos resulta menos costoso y riesgoso modificar el proceso de origen que tratar la contaminación después de generada (Singh et al., 2023).

El principio de precaución se aplica cuando existe incertidumbre sobre sustancias o mezclas capaces de causar daños graves. La ausencia de un parámetro en una norma no autoriza su descarga sin control. Los avances del análisis no dirigido muestran que los efluentes industriales pueden contener mezclas complejas de compuestos que los métodos convencionales no siempre detectan (Khan et al., 2024).

De acuerdo con el principio de “quien contamina paga”, el generador debe cubrir los costos de prevención, tratamiento, monitoreo y reparación. No se trata únicamente de pagar una sanción. Ante un daño, pueden requerirse restauración ambiental, suministro alternativo de agua, atención sanitaria, compensación por pérdidas productivas y seguimiento de largo plazo. Trasladar esos costos al presupuesto público equivale a socializar las externalidades de la actividad económica (Mitchell y Rabassa, 2024).

La debida diligencia ambiental extiende la responsabilidad a la cadena de valor. Cuando una empresa subcontrata procesos como teñido, lavado, galvanizado o transporte, debe seleccionar y supervisar adecuadamente a sus proveedores. La subcontratación no puede utilizarse para desplazar las actividades más contaminantes hacia instalaciones pequeñas con menor capacidad de control (Mustafa et al., 2023).

La responsabilidad puede organizarse en cuatro niveles acumulativos: cumplimiento obligatorio; prevención y mejora más allá de los mínimos; reparación de daños; y colaboración frente a problemas territoriales compartidos. La participación en una iniciativa colectiva no exime del cumplimiento ni del deber de reparar.

La colaboración intersectorial coordina a instituciones públicas, empresas, organizaciones sociales, comunidades y universidades para atender un problema que ningún actor puede resolver de manera aislada. En la restauración de ríos permite movilizar financiamiento, información, tecnología, conocimiento territorial y capacidad de ejecución (Bai et al., 2024; Xia et al., 2024).

La gobernanza colaborativa no significa que todos los participantes tengan funciones o poderes idénticos. Las autoridades conservan la regulación, inspección, sanción y protección de derechos; las empresas controlan sus procesos y financian sus obligaciones; las universidades aportan conocimiento; y las comunidades contribuyen con experiencia territorial, monitoreo y definición de prioridades. La claridad de funciones evita que la colaboración diluya responsabilidades (Xia et al., 2024).

La colaboración requiere objetivos comunes, reglas de participación, acceso a la información, confianza, transparencia, autoridad legítima y mecanismos de resolución de controversias. La celebración de reuniones no constituye gobernanza colaborativa cuando las decisiones ya se tomaron o los actores con mayor poder controlan la agenda (Bai et al., 2024).

La justicia ambiental permite examinar quién recibe los beneficios del desarrollo económico y quién soporta los costos de la contaminación. Las comunidades cercanas a corredores industriales pueden enfrentar exposición, olores, pérdida de medios de vida y riesgos sanitarios, mientras los beneficios se distribuyen en territorios más amplios. Esta desigualdad exige justicia distributiva, procedimental y de reconocimiento.

La colaboración también requiere libertad de información. Las comunidades deben saber quién descarga, qué sustancias se miden, cómo se analizan y qué acciones se adoptan. La información excesivamente agregada o técnica puede convertirse en una barrera para la vigilancia social. Los datos deben presentarse por instalación o zona, acompañados de series y explicaciones comprensibles (CNDH, 2017).

El Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes es una herramienta para reportar liberaciones de sustancias al agua, aire, suelo y residuos. Su utilidad a escala de cuenca depende de la cobertura de instalaciones, la calidad de los reportes, la verificación y la vinculación de las emisiones con puntos específicos de descarga (Semarnat, 2023).

La trazabilidad de las descargas consiste en identificar su fuente, composición y trayectoria. En una cuenca con numerosas empresas, intermediarios y sistemas urbanos de tratamiento, los contaminantes pueden mezclarse y dificultar la identificación del responsable. El monitoreo debe integrar mediciones en cada instalación, colectores, afluentes y puntos estratégicos del río (Covarrubias-López et al., 2023).

La caracterización debe adaptarse a cada corriente. Los colorantes, sales, tensioactivos y materia orgánica son frecuentes en efluentes textiles; los metales y aceites, en los metalúrgicos; las grasas y cargas orgánicas, en los alimentarios; y las mezclas variables, en los químicos. Diseñar una planta sin caracterizar las corrientes puede producir un tratamiento inadecuado o inestable (Mejía-Marchena et al., 2023; Singh et al., 2023).

La producción más limpia y la reducción en el origen constituyen el primer nivel de la jerarquía tecnológica. Después deben considerarse la separación de corrientes, la recuperación de recursos, la recirculación, el pretratamiento, los procesos biológicos y fisicoquímicos, las membranas y la oxidación avanzada. La selección debe responder a la composición, el caudal, el uso previsto y la capacidad operativa, y no solo a la novedad de la tecnología (Mejía-Marchena et al., 2023).

Las plantas individuales son adecuadas cuando un establecimiento genera caudales y contaminantes definidos y cuenta con capacidad técnica. Las plantas compartidas pueden servir a pequeñas empresas concentradas en un parque o corredor, pero exigen pretratamiento, normas de admisión, medición y asignación inequívoca de responsabilidades (Singh et al., 2023).

La infraestructura compartida puede generar economías de escala, pero también riesgo moral. Una descarga incompatible puede desestabilizar toda la planta. Los contratos deben fijar límites en el origen, sistemas de detección, sanciones y reglas para recuperar los costos provocados por incumplimientos.

La economía circular del agua ofrece alternativas como la recirculación de corrientes, la recuperación de calor, el reúso y la recuperación de recursos. Sin embargo, el reúso no puede ocultar una descarga final con alta carga contaminante ni trasladar los contaminantes hacia lodos, suelos o productos (Fernandes y Cunha Marques, 2023; Khan et al., 2024).

Los incentivos económicos pueden facilitar la adopción tecnológica, especialmente entre las pequeñas y medianas empresas. Los créditos, garantías, incentivos fiscales, asistencia técnica y compras consolidadas reducen barreras. El financiamiento debe condicionarse a resultados y no cubrir las obligaciones ordinarias del contaminador (Mustafa et al., 2023).

La evidencia indica que la responsabilidad corporativa, la conciencia ambiental, la reputación y los costos influyen en la instalación de sistemas de tratamiento. Sin monitoreo, información y capacidad organizativa, los incentivos aislados son insuficientes. Deben combinarse obligaciones, apoyo técnico y consecuencias efectivas ante el incumplimiento (Liu, 2023; Mustafa et al., 2023).

La restauración fluvial comprende más que el tratamiento de las descargas. Incluye la remediación de sitios contaminados, el saneamiento y estabilización de riberas, el control de la erosión, la recuperación de humedales y la restitución de hábitats. Las soluciones basadas en la naturaleza pueden complementar el saneamiento, pero no sustituir el control de contaminantes en la fuente (Semarnat, 2026a).

Método de investigación

El capítulo se desarrolló mediante una investigación teórica y documental con enfoque cualitativo e integrador. El diseño permitió vincular estudios sobre contaminación del Alto Atoyac, responsabilidad empresarial, justicia ambiental, tratamiento de aguas residuales, gobernanza colaborativa y restauración de cuencas.

La revisión comprendió investigaciones científicas, normas, recomendaciones de derechos humanos, publicaciones oficiales, programas de salud pública y literatura sobre gestión industrial del agua. Se priorizaron documentos publicados entre 2022 y 2026, y se incorporaron antecedentes anteriores cuando resultaron indispensables para comprender el problema.

La búsqueda documental utilizó términos en español e inglés relacionados con contaminación industrial, Cuenca Alta del Atoyac, río Atoyac, aguas residuales, responsabilidad ambiental, colaboración intersectorial, gobernanza colaborativa, tratamiento industrial, salud ambiental, justicia hídrica y restauración fluvial.

Los documentos se seleccionaron por su pertinencia, procedencia académica u oficial, actualidad, claridad metodológica y utilidad para construir una propuesta aplicable a Puebla. Se excluyeron textos promocionales, materiales sin evidencia verificable y análisis centrados en un solo sector que no distinguían entre fuentes municipales, industriales y territoriales.

La información se organizó en siete categorías: fuentes de contaminación; responsabilidad empresarial; cumplimiento y regularización; capacidades tecnológicas; colaboración y financiamiento; monitoreo y transparencia; y justicia ambiental y participación comunitaria. Las categorías se integraron en un marco de saneamiento corresponsable.

Los resultados constituyen una síntesis teórica aplicada al contexto del Atoyac. No pretenden atribuir responsabilidad jurídica a empresas o municipios específicos ni evaluar proyectos recién iniciados. La falta de información pública homogénea y comparable sobre caudales, cargas, permisos y operación de plantas es una limitación y, al mismo tiempo, un problema central de gobernanza.

Resultados

La contaminación como problema sistémico y multicausal

El primer resultado es que el saneamiento debe reconocer la naturaleza sistémica de la contaminación. Las descargas domésticas aportan materia

orgánica, microorganismos, nutrientes y detergentes; las industriales, contaminantes específicos; las actividades agrícolas y ganaderas, nutrientes, plaguicidas y sedimentos; y los residuos sólidos obstruyen y deterioran los cauces (Conagua, 2025; Covarrubias-López et al., 2023).

El caudal no determina por sí solo la importancia de una fuente. Una descarga industrial de menor volumen puede contener metales, solventes, colorantes o compuestos persistentes con efectos desproporcionados. El diagnóstico debe diferenciar volumen, carga orgánica, toxicidad y persistencia (Khan et al., 2024).

Tampoco es adecuado atribuir el problema únicamente a las grandes empresas. La cuenca incluye empresas medianas, pequeñas y microempresas, talleres y actividades informales. Algunas unidades carecen de infraestructura, capacidad técnica o espacio para tratar sus efluentes, mientras otras eluden deliberadamente el cumplimiento. La política debe distinguir entre limitaciones reales y conductas evasivas.

El inventario de fuentes debe incluir establecimientos, municipios, colectores, plantas de tratamiento, vertederos, sistemas de drenaje y actividades agrícolas. Cada punto debe contar con coordenadas, caudal, composición, frecuencia, autorización y estado de cumplimiento. La información debe actualizarse y permitir el seguimiento de regularizaciones y cierres.

La red de monitoreo debe detectar variaciones espaciales y temporales. La calidad durante la temporada de lluvias puede diferir de la observada en estiaje, cuando existe menor dilución. También deben captarse descargas nocturnas, episodios intermitentes y cambios asociados con los ciclos industriales (Covarrubias-López et al., 2023).

Los análisis de laboratorio pueden complementarse con sensores en línea. El pH, la conductividad, el oxígeno disuelto, la temperatura y la turbidez permiten detectar cambios súbitos, pero no sustituyen los análisis de metales, compuestos orgánicos, ecotoxicidad y microorganismos. Ambos tipos de información deben integrarse.

Responsabilidad individual de las empresas

El segundo resultado es que la colaboración intersectorial solo puede sustentarse en el cumplimiento de cada establecimiento. Las empresas deben caracterizar sus corrientes, prevenir contaminantes, operar adecuadamente sus plantas y verificar la calidad antes de descargar. Ninguna de estas obligaciones puede equipararse con una contribución colectiva.

La auditoría corporativa del agua debe identificar las fuentes de abastecimiento, los usos en cada proceso, las pérdidas, la recirculación, las descargas y las sustancias empleadas. Los balances permiten localizar oportunidades de prevención, recuperación y tratamiento y establecer una línea base para comparar resultados.

La separación de corrientes es especialmente importante. Mezclar agua de enfriamiento poco contaminada con efluentes concentrados aumenta el volumen que debe tratarse. Asimismo, combinar sustancias incompatibles puede alterar procesos biológicos o provocar reacciones peligrosas (Mejía-Marchena et al., 2023).

La debida diligencia debe abarcar contratistas y proveedores. Las empresas tractoras pueden exigir evidencia de tratamiento, cumplimiento y trazabilidad, pero deben evitar que esos requisitos se conviertan en mecanismos excluyentes. La asistencia técnica, el financiamiento y los periodos de transición son necesarios para proveedores dispuestos a regularizarse.

Los informes corporativos deben desglosar los datos por instalación y no limitarse a totales nacionales o globales. Una reducción en otra cuenca no compensa una descarga al Atoyac. Las metas deben vincularse con el territorio y con el estado del cuerpo receptor.

La gobernanza corporativa puede fortalecer el cumplimiento mediante comités ambientales, auditorías internas, objetivos vinculados con la remuneración directiva y supervisión del consejo de administración. La evidencia indica que los mecanismos de control y la presión externa pueden mejorar la inversión ambiental y el desempeño empresarial (Liu, 2023).

Regularización diferenciada y cumplimiento reforzado

El tercer resultado es que la regularización requiere respuestas diferenciadas. Las grandes empresas deben financiar y operar soluciones propias cuando la composición y el volumen de sus efluentes lo justifiquen. Para las pequeñas empresas pueden ser necesarios sistemas compartidos, servicios móviles, centros de pretratamiento, créditos y capacitación.

Los programas de regularización deben incluir diagnósticos documentados, metas intermedias, plazos definidos y verificación. Establecer fechas sin apoyo técnico ni capacidad de inspección genera declaraciones formales sin resultados; extender indefinidamente los plazos debilita la regulación y prolonga el daño (Gobierno del Estado de Puebla, 2025).

Los programas de apoyo deben exigir medición, auditorías y divulgación de los efluentes. Los recursos públicos pueden financiar infraestructura colectiva y asistencia técnica con beneficios territoriales, pero no sanciones, reparación de daños ni inversiones ordinarias de empresas solventes.

La certificación puede complementar, pero no sustituir, la regulación. Un certificado acredita procedimientos durante un periodo determinado; no garantiza la ausencia de incumplimientos futuros. Las autoridades deben conservar sus facultades de inspección y sanción.

Los incentivos deben vincularse con la reducción de cargas contaminantes y no solo con la compra de equipos. Una planta instalada que permanece inactiva por falta de personal, energía o mantenimiento no constituye un resultado. Deben medirse el caudal tratado, el cumplimiento, la continuidad operativa, la gestión de lodos y la reducción de toxicidad.

La regulación debe abarcar tanto las descargas directas al río como las vertidas al alcantarillado. Un residuo industrial que una planta municipal no puede tratar puede dañar la red, poner en riesgo a los trabajadores y desestabilizar los procesos biológicos. Por ello, el pretratamiento industrial resulta indispensable.

Estrategia tecnológica e infraestructura compartida

El cuarto resultado es que la estrategia tecnológica debe partir de la prevención y avanzar hacia tratamientos de mayor complejidad solo cuando sean necesarios. No existe una planta capaz de tratar adecuadamente todos los efluentes. La caracterización sectorial debe determinar qué contaminantes se previenen, recuperan, separan o eliminan (Singh et al., 2023).

Los procesos biológicos, como la digestión anaerobia, pueden emplearse en efluentes con cargas orgánicas elevadas. Para corrientes con metales, aceites o colorantes pueden requerirse tratamientos fisicoquímicos, adsorción, membranas u oxidación avanzada. Los sistemas híbridos mejoran la remoción, pero implican mayores exigencias operativas y de mantenimiento (Mejía-Marchena et al., 2023).

Las plantas compartidas pueden desarrollarse en parques y corredores industriales cuando las empresas están próximas, sus efluentes son compatibles y existe una demanda suficiente. El pretratamiento en cada instalación debe impedir que una descarga tóxica alcance la planta común.

La planta compartida requiere operación profesional, contratos, laboratorio y medidores en cada conexión. La tarifa puede combinar volumen y carga contaminante, de modo que las corrientes más complejas cubran una proporción mayor del costo. Cobrar únicamente por volumen genera incentivos inadecuados.

El operador debe tener facultad para rechazar descargas fuera de especificación y recuperar los costos de los incidentes. También se necesita un fondo permanente para mantenimiento, actualización tecnológica y contingencias; depender exclusivamente de presupuestos anuales pone en riesgo la continuidad.

Las plantas municipales deben dimensionarse de acuerdo con los caudales reales, la red de colectores y la capacidad financiera y operativa. Aumentar capacidad sin drenajes troncales, energía, personal y presupuesto de mantenimiento produce infraestructura subutilizada. El saneamiento comprende recolección, conducción, tratamiento, descarga segura y, cuando sea viable, reúso. Las soluciones basadas en la naturaleza, como humedales construidos y cauces restaurados, pueden complementar el tratamien-

to, especialmente en comunidades pequeñas. Ofrecen bajo consumo energético, generación de hábitat y amortiguamiento de cargas, pero requieren suelo, diseño, protección contra descargas tóxicas y mantenimiento (Semarnat, 2026a).

Colaboración y gobernanza intersectorial

El quinto resultado es la necesidad de una plataforma intersectorial oficial y permanente. El Grupo de Trabajo Interinstitucional existente puede constituir una base, pero requiere mecanismos claros para incorporar a empresas, cámaras, comunidades, academia y organizaciones civiles sin despojar a las autoridades de sus facultades (Semarnat, 2024).

La plataforma debe organizarse a escala de cuenca y por subzonas. San Martín Texmelucan, Huejotzingo, Cuautlancingo, Coronango, la ciudad de Puebla y el río Alseseca presentan combinaciones distintas de actividades y descargas. Los grupos territoriales pueden definir medidas específicas dentro de una estrategia común.

La representación empresarial debe reflejar distintos tamaños y sectores. Las cámaras facilitan el diálogo, pero no siempre representan toda la diversidad productiva. Las grandes empresas no deben dominar la toma de decisiones.

Las comunidades necesitan representación efectiva. La igualdad formal en una reunión no compensa las diferencias de conocimiento, tiempo y recursos. Deben existir fondos para asistencia técnica, asesoría independiente, monitoreo comunitario y participación.

Las universidades pueden caracterizar contaminantes, evaluar tecnologías y riesgos y verificar resultados. Su participación debe asegurar transparencia del financiamiento, acceso a datos y libertad para publicar resultados desfavorables.

Los espacios de colaboración deben mantenerse separados de los procedimientos de inspección y sanción. Financiar iniciativas comunes no puede otorgar a una empresa un trato regulatorio preferente. Las autoridades que emiten permisos e inspeccionan deben preservar su independencia respecto de los actores supervisados.

Financiamiento y asignación de responsabilidades

El sexto resultado es que el financiamiento del saneamiento debe distribuirse entre varios actores. Los gobiernos deben financiar colectores principales, sistemas municipales, supervisión pública y restauración de bienes comunes. Las empresas deben cubrir la prevención, el tratamiento y la reparación de los daños derivados de sus efluentes. Los fondos compartidos pueden apoyar infraestructura regional con beneficios públicos claros.

Las contribuciones empresariales pueden calcularse según el consumo, el caudal y la carga contaminante, la capacidad económica y los beneficios esperados. Una tarifa fija afectaría desproporcionadamente a las pequeñas empresas, mientras que un esquema puramente voluntario permitiría que algunos usuarios se beneficiaran sin contribuir.

Los contratos de desempeño pueden aplicarse a plantas de tratamiento, colectores y sistemas de monitoreo. Una parte del pago debe depender de la reducción verificada de cargas, la disponibilidad de la infraestructura y el cumplimiento. Las líneas base y la verificación independiente son indispensables.

La participación privada no elimina el gasto público. La inversión se recupera mediante tarifas, pagos gubernamentales o contratos de servicio. La decisión debe comparar costos, riesgos y capacidades con los de la contratación tradicional (Bai et al., 2024).

Las asociaciones de largo plazo requieren condiciones de pago, garantías, penalizaciones y procedimientos de modificación transparentes. El socio privado puede asumir riesgos de construcción y operación, pero la supervisión regulatoria debe permanecer en manos de la autoridad. Los costos de descargas industriales específicas no deben trasladarse a los usuarios domésticos.

El principio de “quien contamina paga” debe coexistir con apoyos para unidades vulnerables. La asistencia facilita el cumplimiento, pero no exime al generador de su responsabilidad. Los créditos y subsidios deben condicionarse a medición, operación y resultados verificables.

Monitoreo, transparencia y rendición de cuentas

El séptimo resultado es la creación de un sistema público e independiente de información. La red debe integrar datos de la Conagua, la Profepa, los gobiernos estatales y municipales, las empresas, las universidades y las comunidades. Cada dato debe incluir fecha, ubicación, método, responsable y procedimiento de verificación.

El diagnóstico debe incluir demanda bioquímica y química de oxígeno, sólidos, microorganismos, oxígeno disuelto y otros parámetros básicos. La diversidad industrial exige además medir metales, toxicidad y compuestos específicos (Conagua, 2025; Covarrubias-López et al., 2023).

Los datos deben publicarse mediante mapas y series históricas. Las clasificaciones por colores facilitan la comunicación, pero deben acompañarse de valores, umbrales y justificaciones. Un sistema de semáforo simplificado no puede representar por sí solo todos los contaminantes.

El monitoreo empresarial debe verificarse mediante muestreo público e independiente. Permitir que el actor supervisado genere y controle toda la información crea asimetrías y reduce la confianza. Los laboratorios deben ser competentes y los resultados auditables.

La ciudadanía debe contar con mecanismos para reportar olores, cambios de color, espuma, mortandad de peces y descargas anormales. Estas observaciones no sustituyen los análisis, pero ayudan a orientar inspecciones y detectar episodios intermitentes.

La publicación de establecimientos incumplidos, medidas correctivas y avances de regularización debe ajustarse al marco jurídico. La transparencia genera incentivos reputacionales y permite evaluar la consistencia de las autoridades.

Participación comunitaria, justicia ambiental y salud

El octavo resultado es que la recuperación del río debe incorporar la protección de la salud pública. Las poblaciones expuestas requieren agua segura, vigilancia epidemiológica, comunicación de riesgos y mecanismos para

investigar la relación entre contaminación y enfermedad (Svarch Pérez et al., 2025).

La comunicación debe reconocer la incertidumbre. Es irresponsable afirmar que no existe riesgo cuando no se ha demostrado una relación causal individual, pero también lo es atribuir toda enfermedad a la contaminación sin evidencia. Las autoridades deben explicar qué se sabe, qué se desconoce y qué medidas preventivas se adoptarán.

La participación comunitaria debe comenzar en la etapa diagnóstica. Los habitantes pueden identificar la ubicación, el momento y la naturaleza de episodios de descarga y documentar usos locales del agua. Este conocimiento ayuda a definir estaciones de monitoreo y evaluar resultados.

La justicia ambiental exige priorizar los territorios más expuestos y con menor capacidad de respuesta. Los proyectos visibles en zonas urbanas no deben desplazar a comunidades rurales que continúan sin saneamiento. La asignación de recursos debe considerar riesgo, población expuesta, vulnerabilidad y daño histórico.

Se requieren mecanismos independientes de queja con plazos y respuestas verificables. Las empresas pueden mantener canales internos, pero las personas deben conservar acceso a autoridades administrativas, sanitarias, ambientales y de derechos humanos.

La restauración debe generar beneficios locales. Las obras, empleos, parques ribereños e infraestructura pueden contribuir a la recuperación social siempre que no desplacen a la población, incrementen injustificadamente el precio del suelo ni permitan la apropiación privada del espacio público.

Modelo de saneamiento corresponsable

A partir de los resultados se propone un modelo integrado con ocho componentes: diagnóstico territorial; responsabilidad individual; regularización diferenciada; infraestructura y tecnología adecuadas; colaboración intersectorial; financiamiento proporcional; monitoreo independiente; y justicia socioambiental.

El diagnóstico territorial identifica fuentes, contaminantes, riesgos y poblaciones expuestas. La responsabilidad individual asigna a cada actor el

control de sus descargas. La regularización diferenciada combina obligaciones, plazos, asistencia y sanciones de acuerdo con la capacidad y la conducta del establecimiento.

La infraestructura y la tecnología articulan prevención, pretratamiento, plantas individuales, sistemas municipales y soluciones compartidas. La colaboración intersectorial coordina autoridades, empresas, academia y organizaciones sociales sin confundir sus responsabilidades.

El financiamiento proporcional distribuye costos según responsabilidad, beneficio y capacidad. El monitoreo independiente verifica el cumplimiento y los resultados. La justicia ambiental prioriza la salud, los derechos y los territorios históricamente afectados.

El modelo opera en tres escalas. En la instalación se previenen y tratan contaminantes; en el corredor industrial o municipio se comparten infraestructura y monitoreo; y en la cuenca se evalúan la calidad del agua, la restauración y la distribución de beneficios.

Los indicadores empresariales deben incluir caudal, carga contaminante, cumplimiento, recirculación, incidentes y mantenimiento. Los indicadores territoriales deben evaluar la calidad del río, las descargas eliminadas, el funcionamiento de las plantas, la recuperación ecológica, la exposición sanitaria y la participación.

La evaluación debe distinguir productos de efectos. Construir una planta, limpiar una ribera u organizar una reunión son productos; los efectos son la reducción sostenida de cargas contaminantes, la recuperación de ecosistemas y la disminución del riesgo sanitario.

Conclusiones

La contaminación del río Atoyac es resultado de décadas de industrialización, urbanización, tratamiento insuficiente de aguas residuales, planeación territorial deficiente y coordinación limitada. Su carácter acumulativo impide resolverla mediante un solo proyecto, una sola autoridad o un único sector.

Las descargas industriales forman parte del problema junto con las municipales, los residuos, las actividades agropecuarias y el deterioro de las

riberas. Reconocer esta diversidad no debe diluir responsabilidades. Cada actor debe responder por las fuentes y procesos que controla.

El cumplimiento normativo constituye el requisito mínimo de la responsabilidad empresarial. Las empresas deben caracterizar sus efluentes, prevenir contaminantes, operar sistemas de tratamiento y proporcionar información verificable. Estas obligaciones no se sustituyen mediante proyectos colectivos.

La colaboración intersectorial puede movilizar recursos, conocimiento, tecnología y capacidad de ejecución. También puede utilizarse para desplazar obligaciones o influir indebidamente en la regulación; por ello, su legitimidad depende de reglas claras, transparencia y separación entre colaboración y supervisión.

La estrategia tecnológica debe diferenciar sectores y tamaños. Las grandes instalaciones pueden operar plantas propias, mientras las pequeñas pueden integrarse en sistemas compartidos sujetos a pretratamiento, medición y reglas de admisión.

Las plantas municipales requieren colectores, energía, personal, presupuesto y mantenimiento. La infraestructura que no opera de manera continua reproduce el círculo de subutilización y descarga sin tratamiento.

Los incentivos públicos deben condicionarse a reducciones verificables de cargas y a la operación sostenida de los equipos. Financiar infraestructura sin asegurar su funcionamiento no equivale a sanear. Los contratos de desempeño pueden distribuir los riesgos de operación y mantenimiento.

El saneamiento requiere un sistema independiente de monitoreo y transparencia. Las fuentes, métodos, resultados, incumplimientos y medidas correctivas deben ser públicos. Los datos excesivamente agregados o bajo control exclusivo de los actores supervisados son insuficientes.

La justicia sanitaria y ambiental debe integrarse en la recuperación. Las comunidades no son receptoras pasivas de información, sino participantes con conocimientos y derechos. Las prioridades deben concentrarse en los territorios con mayor exposición y rezago.

La restauración también comprende recuperar riberas, retirar residuos, rehabilitar ecosistemas, controlar ocupaciones irregulares y reconstruir el vínculo social con el río. Las soluciones basadas en la naturaleza complementan, pero no sustituyen, la prevención y el cumplimiento.

El modelo propuesto articula diagnóstico, responsabilidad, regularización, infraestructura, colaboración, financiamiento, monitoreo y justicia. El éxito debe medirse por la reducción de cargas contaminantes, la recuperación de ecosistemas y la mejora de la salud comunitaria, no por el número de obras o reuniones.

La recuperación del Atoyac es posible, pero exige que el desarrollo regional deje de trasladar a la sociedad los costos ambientales y sanitarios de las descargas. Una empresa responsable previene, informa, cumple, repara y participa en una gobernanza territorial transparente.

Referencias

- Bai, Y., Lu, C., Dong, X., y Li, Y. (2024). Role of collaborative governance in unlocking private investment in sustainable projects. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11, 699. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03175-2>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2024). Ley de Aguas Nacionales. Diario Oficial de la Federación.
- Comisión Nacional de los Derechos Humanos. (2017). Recomendación 10/2017 sobre la violación a los derechos humanos a un medio ambiente sano, saneamiento del agua y acceso a la información en relación con la contaminación de los ríos Atoyac, Xochiac y sus afluentes. <https://hist.cndh.org.mx/documento/recomendacion-102017>
- Comisión Nacional del Agua. (2025, 11 de mayo). El Gobierno de México mantiene acciones para el saneamiento del río Atoyac. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conagua/prensa/el-gobierno-de-mexico-mantiene-acciones-para-el-saneamiento-del-rio-atoyac>
- Covarrubias-López, A. C., García-Suastegui, W. A., Valencia-Quintana, R., Avelino-Flores, F., Méndez-Bermúdez, A., y Handal-Silva, A. (2023). Human impact in the watershed of the Atoyac River in the Metropolitan Area of Puebla, Mexico. *Sustainability*, 15(13), 10565. <https://doi.org/10.3390/su151310565>
- Diario Oficial de la Federación. (2022, 11 de marzo). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022
- Fernandes, E., y Cunha Marques, R. (2023). Review of water reuse from a circular economy perspective. *Water*, 15(5), 848. <https://doi.org/10.3390/w15050848>
- Gobierno del Estado de Puebla. (2025, 10 de octubre). Avanza diagnóstico para rescate del río Atoyac con participación de sectores productivos. <https://puebla.gob.mx>

- mx/index.php/noticias/item/20865-avanza-diagnostico-para-rescate-del-rio-atoyac-con-participacion-de-sectores-productivos
- Ibarrarán, M. E., Saldaña-Vázquez, R. A., y Pérez-García, T. (2021). The cost of pollution in the Upper Atoyac River Basin: A systematic review. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.00095>
- Khan, U. A., Löffler, P., Spilsbury, F., Wiberg, K., Stålsby Lundborg, C., y Lai, F. Y. (2024). Towards sustainable water reuse: A critical review and meta-analysis of emerging chemical contaminants with risk-based evaluation, health hazard prediction and prioritization for assessment of effluent water quality. *Journal of Hazardous Materials*, 480, 136175. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136175>
- Liu, Q. (2023). External governance pressure and corporate environmental responsibility: Evidence from a quasi-natural experiment in China. *Business Ethics, the Environment y Responsibility*, 32(2), 592–609. <https://doi.org/10.1111/beer.12492>
- Mejía-Marchena, R., Maturana-Córdoba, A., Gómez-Cerón, D., Quintero-Monroy, C., Arismendy-Montes, L., y Cárdenas-Pérez, C. (2023). Industrial wastewater treatment technologies for reuse, recycle, and recovery: Advantages, disadvantages, and gaps. *Environmental Technology Reviews*, 12(1), 205-250. <https://doi.org/10.1080/21622515.2023.2198147>
- Mitchell, A. E., y Rabassa, M. (2024). Inequality in environmental risk exposure and procedural justice in the Matanza-Riachuelo River Basin. *Oxford Development Studies*, 52(4), 360-380. <https://doi.org/10.1080/13600818.2024.2334672>
- Mustafa, S., Long, Y., y Rana, S. (2023). The role of corporate social responsibility and government incentives in installing industrial wastewater treatment plants: SEM-ANN deep learning approach. *Scientific Reports*, 13, 16529. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37239-1>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2022, 20 de diciembre). Saneamiento del río Atoyac. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/rioatoyac/articulos/saneamiento-del-rio-atoyac>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2023). Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat%7Cretc/articulos/registro-de-emisiones-y-transferencia-de-contaminantes>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2024). Programa de Acciones de Saneamiento en el río Atoyac. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/educacionambiental/acciones-y-programas/programa-de-acciones-de-saneamiento-pas-en-el-rio-atoyac>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2026a, 12 de marzo). Ficha del proyecto: Saneamiento y restauración del río Atoyac y sus tributarios o afluentes en los estados de Puebla y Tlaxcala. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat%7Criosvivos/articulos/ficha-del-proyecto-saneamiento-del-rio-atoyac>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2026b, 9 de marzo). Saneamiento del río Atoyac para el rescate de entornos sociales. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat%7Criosvivos/articulos/saneamiento-del-rio-atoyac-para-el-rescate-de-entornos-sociales>

- Singh, B. J., Chakraborty, A., y Sehgal, R. (2023). A systematic review of industrial wastewater management: Evaluating challenges and enablers. *Journal of Environmental Management*, 348, 119230. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119230>
- Svarch Pérez, A. E., Suárez-Rienda, V., De la Sierra de la Vega, L. A., y Alcocer Varela, J. C. (2025). Percepción de riesgos a la salud por contaminación industrial en la cuenca del Alto Atoyac: Aportaciones para la regulación sanitaria. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 41, 581-597. <https://doi.org/10.20937/RICA.55301>
- Xia, Y., Tian, Z., y Ding, C. (2024). Collaborative governance in action: Driving ecological sustainability in the Yangtze River basin. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1463179. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1463179>