

3. Sonora: minería, responsabilidad empresarial y gobernanza del agua*

JORGE ALEJANDRO SILVA RODRÍGUEZ DE SAN MIGUEL**



DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.493.03>

Resumen

Sonora ocupa una posición central en la minería mexicana por su producción de cobre, oro, molibdeno, grafito y otros minerales. Gran parte de la actividad extractiva se desarrolla en territorios áridos y semiáridos afectados por sequías, presión sobre los acuíferos y conflictos entre usos urbanos, agrícolas, ganaderos, ambientales y productivos. El objetivo del capítulo es examinar, mediante una investigación teórica y documental, la responsabilidad de las empresas mineras en la gestión del agua y los mecanismos de gobernanza necesarios para prevenir, controlar y remediar sus impactos. La revisión integra aportes sobre gobernanza hídrica, responsabilidad empresarial, justicia ambiental, gestión sostenible, transparencia y participación. Los resultados indican que el cumplimiento regulatorio constituye solo el nivel mínimo de responsabilidad y debe complementarse con debida diligencia, prevención, eficiencia, recirculación, monitoreo independiente, información verificable, reparación integral y planeación del cierre. Se propone un modelo basado en rectoría pública, responsabilidad empresarial, participación comunitaria efectiva y apoyo científico independiente. Se concluye que la legitimidad futura de la minería en Sonora depende de su compatibilidad con la seguridad hídrica territorial.

* 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 Administrativas. Profesor-investigador de la ESCA-ST del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0961-4696> ; Scopus ID: 57197809938 ; correo: jasilva@ipn.mx

Palabras clave: *minería, gobernanza del agua, responsabilidad empresarial, justicia ambiental.*

Introducción

Sonora ocupa una posición central en el sector minero mexicano. Es el principal productor nacional de cobre y molibdeno y también alberga operaciones de oro, plata, grafito y wollastonita. Estas actividades han impulsado proveedores, empleo especializado, exportaciones e inversión en extracción y procesamiento de minerales, por lo que la minería constituye uno de los sectores estratégicos de la economía estatal (Secretaría de Economía y Turismo del Estado de Sonora, 2024).

La importancia económica de la minería podría aumentar durante las próximas décadas debido a la demanda de minerales utilizados en redes eléctricas, equipos electrónicos, sistemas de almacenamiento, vehículos eléctricos y tecnologías de generación renovable. Sin embargo, la transición energética no elimina los riesgos ambientales y sociales asociados con la extracción. Una mayor demanda de minerales puede incrementar el uso de suelo, energía y agua, la generación de residuos y la exposición de comunidades y ecosistemas a peligros mineros, aun cuando mejore la eficiencia por unidad producida (Macklin et al., 2023; Owen y Kemp, 2023).

El agua interviene en todas las etapas del ciclo de vida de una mina. Puede utilizarse en exploración, perforación, trituración, molienda, concentración, flotación, lixiviación, transporte de minerales, control de polvo, lavado de equipos y manejo de relaves. Las necesidades varían según el mineral, la escala de producción, la tecnología, el clima y la capacidad de recircular el agua dentro de los procesos (Gilsbach et al., 2022; Robertson et al., 2024).

El volumen es solo una dimensión de los impactos mineros, ya que la disponibilidad y la calidad de los recursos locales pueden verse afectadas por la extracción de aguas subterráneas, la desviación de escorrentías y las filtraciones provenientes de instalaciones de residuos. Los efectos pueden extenderse más allá del área de operación y persistir después del cierre debido a la incorporación de contaminantes en sedimentos, suelos, aguas superficiales o acuíferos (Macklin et al., 2023).

Estas relaciones adquieren especial importancia en el contexto árido y semiárido de Sonora, caracterizado por precipitaciones irregulares y presión sobre diversas fuentes subterráneas. La disponibilidad no es uniforme y varios acuíferos presentan balances negativos, lo que significa que los volúmenes comprometidos superan la disponibilidad media anual calculada. Entre ellos se encuentran Caborca, Valle de San Luis Río Colorado, Sonoyta-Puerto Peñasco, Magdalena, Busani y Coyotillo (Comisión Nacional del Agua [Conagua], 2023).

La presión sobre los acuíferos no puede atribuirse exclusivamente a la minería, pues también intervienen los usos agrícolas, ganaderos, urbanos, turísticos e industriales. No obstante, las operaciones mineras suelen prolongarse durante décadas, concentran extracciones localmente y generan residuos que requieren gestión y monitoreo de largo plazo. Por ello, su responsabilidad no debe evaluarse únicamente a partir de la existencia de una concesión, sino también mediante los efectos acumulativos sobre las fuentes compartidas (Conagua, 2023; Gilsbach et al., 2022).

El derrame ocurrido el 6 de agosto de 2014 en las instalaciones de Buenavista del Cobre constituye un caso central para comprender la relación entre minería, agua y responsabilidad empresarial en Sonora. El incidente liberó aproximadamente 40 mil metros cúbicos de solución de sulfato de cobre acidulado en el arroyo Tinajas, que alcanzó los ríos Bacanuchi y Sonora. La contaminación afectó a comunidades de la cuenca, restringió el uso del agua y dio lugar a medidas de emergencia, compensación e infraestructura para el abastecimiento y tratamiento (Haro Velarde y Salazar Adams, 2021; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2023).

El caso demuestra que las consecuencias de un desastre minero no concluyen con la contención inicial del derrame. Se requieren monitoreo ambiental, abastecimiento alternativo, vigilancia de la salud, estudios epidemiológicos, mantenimiento de la infraestructura y seguimiento prolongado de las actividades productivas afectadas. La evaluación del Fideicomiso Río Sonora identificó, entre otros desafíos, la complejidad técnica de las medidas, la continuidad operativa de las plantas de tratamiento y la participación comunitaria en la selección de opciones de remediación (Haro Velarde y Salazar Adams, 2021).

El diagnóstico ambiental de Semarnat (2023) identificó impactos directos e indirectos y señaló que las medidas de remediación aplicadas después del derrame resultaron insuficientes, pues los efectos persisten en diversos componentes ambientales. La continuidad de las acciones gubernamentales y comunitarias confirma que los daños sociales y ambientales pueden prolongarse mucho después de la emergencia, lo que refuerza la importancia de la prevención, las garantías financieras y la responsabilidad de largo plazo (Semarnat, 2023, 2024).

El caso del río Sonora no debe interpretarse como un accidente aislado. Permite identificar debilidades en prevención, supervisión, transparencia, coordinación institucional y remediación. La posibilidad de que una falla afecte comunidades y ecosistemas situados a decenas o cientos de kilómetros demuestra que la gestión minera del agua debe realizarse a escala de cuenca y no limitarse al perímetro administrativo de cada instalación (Haro Velarde y Salazar Adams, 2021; Macklin et al., 2023).

El capítulo analiza la responsabilidad empresarial por el agua utilizada o afectada por la minería en Sonora y propone un modelo de gobernanza que articula las funciones del Estado, las empresas, las comunidades y las instituciones científicas. La pregunta de investigación es la siguiente: ¿qué principios, capacidades y mecanismos deben integrar un sistema de gobernanza capaz de prevenir, controlar y remediar los impactos mineros en un territorio marcado por la escasez y la vulnerabilidad ambiental?

La premisa central es que la responsabilidad empresarial no puede reducirse al cumplimiento administrativo de concesiones, autorizaciones y límites de descarga. Aunque el cumplimiento constituye el punto de partida, la escala, duración y naturaleza de los impactos hacen necesaria la debida diligencia durante todo el ciclo del proyecto: prevención, transparencia, participación, reparación integral, cierre y seguimiento posterior. Esta responsabilidad no sustituye la supervisión pública, pues corresponde al Estado asignar el recurso, establecer prioridades, vigilar el cumplimiento y sancionar en defensa del interés colectivo.

Aproximación teórica y conceptual

La gobernanza del agua comprende las instituciones, reglas, actores, procesos y relaciones mediante los cuales el recurso se asigna, utiliza, conserva y protege. Este enfoque amplía la gestión pública al considerar a empresas, comunidades, organizaciones sociales, instituciones académicas y usuarios. Sin embargo, la participación de múltiples actores no implica que todos posean las mismas capacidades, derechos o responsabilidades (Jackson et al., 2023; Robertson et al., 2024).

En el ámbito minero, la gobernanza debe considerar simultáneamente la cantidad y la calidad del agua. La dimensión cuantitativa permite identificar las fuentes de suministro, controlar los volúmenes extraídos y la recarga subterránea, evaluar la competencia entre usos y proteger los caudales ecológicos. La dimensión cualitativa comprende efluentes, lixiviados, elementos tóxicos, drenaje ácido de mina, residuos mineros y medidas de rehabilitación. Ambas dimensiones se relacionan, ya que la contaminación reduce el volumen confiable disponible para consumo humano, agricultura, ganadería y conservación ambiental (Gilsbach et al., 2022; Macklin et al., 2023).

La gobernanza también debe incorporar perspectivas territoriales y acumulativas. Una mina puede cumplir sus volúmenes autorizados o parámetros de descarga y, aun así, contribuir al deterioro de un acuífero o una cuenca sometidos a múltiples presiones. Las evaluaciones aisladas por proyecto pueden omitir los efectos conjuntos de extracciones, descargas, residuos y cambios de uso o cobertura del suelo (Macklin et al., 2023).

La responsabilidad empresarial comprende las obligaciones, decisiones y prácticas mediante las cuales una organización identifica, previene, controla y remedia los impactos sociales y ambientales de sus operaciones. En minería debe incorporarse a la planeación, el diseño, los presupuestos, la operación, la contratación, la gestión de incidentes y el cierre. No debe relegarse a programas filantrópicos o inversiones comunitarias desconectadas de los impactos reales del negocio (Isacowitz et al., 2022; Owen y Kemp, 2023).

La literatura reciente destaca la brecha entre las declaraciones empresariales y su aplicación efectiva. Algunas empresas publican políticas de sostenibilidad, códigos de conducta y compromisos generales sin metas,

presupuestos, responsables internos ni verificación. En esas condiciones, la responsabilidad social puede convertirse en una herramienta reputacional en lugar de integrarse en la gestión operativa y financiera (Isacowitz et al., 2022).

El primer nivel de responsabilidad es el cumplimiento normativo. Comprende títulos de concesión, autorizaciones ambientales, permisos, medidores, infraestructura de control y medidas para prevenir derrames o descargas no autorizadas. La reforma publicada en mayo de 2023 modificó disposiciones de la legislación minera relacionadas con concesiones de agua, protección ambiental, residuos, factibilidad de los proyectos y planeación del cierre (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2023).

El cumplimiento legal no agota la responsabilidad empresarial. Las normas establecen requisitos generales y mínimos, pero el riesgo depende de las condiciones específicas del sitio, la tecnología, la toxicidad de las sustancias, el clima, la vulnerabilidad de los acuíferos y la proximidad de las comunidades. Una empresa prudente debe adoptar precauciones adicionales cuando exista evidencia de un riesgo grave, aunque una conducta no se encuentre expresamente prohibida (Owen y Kemp, 2023).

La prevención exige identificar y mitigar los riesgos antes de que se materialicen. Incluye establecer líneas base, modelar flujos superficiales y subterráneos, analizar escenarios de sequía y precipitación extrema, diseñar sistemas de contención, inspeccionar las instalaciones y preparar planes de respuesta. En las zonas áridas, la prevención adquiere especial valor porque sustituir una fuente contaminada suele ser difícil y costoso (Haro Velarde y Salazar Adams, 2021; Macklin et al., 2023).

El principio de precaución se aplica cuando existe incertidumbre científica, pero se identifica la posibilidad de daños graves o irreversibles. No es necesario esperar certeza absoluta para adoptar medidas protectoras. La incertidumbre debe reforzar los controles frente a soluciones de lixiviación, drenaje ácido, depósitos de relaves y posibles afectaciones a los acuíferos, en lugar de justificar la postergación de decisiones (Macklin et al., 2023).

El principio de “quien contamina paga” establece que los costos de prevención, control, remediación y reparación deben recaer en el responsable del daño. No debe reducirse al pago de una sanción. La reparación puede comprender restauración ambiental, suministro de agua segura, vigilancia

de la salud, compensación por afectaciones productivas, seguimiento epidemiológico y sostenimiento de la infraestructura mientras persistan los efectos (Haro Velarde y Salazar Adams, 2021; Semarnat, 2023).

Niveles complementarios de la responsabilidad empresarial

Los niveles de responsabilidad son complementarios. El primero corresponde al cumplimiento obligatorio; el segundo, a la prevención y gestión más allá de los requisitos mínimos; el tercero, a la remediación proporcional al daño; y el cuarto, a la sostenibilidad hídrica territorial. No son intercambiables: una inversión voluntaria en la comunidad no subsana un incumplimiento ni elimina la obligación de remediar un entorno afectado por las operaciones (Isacowitz et al., 2022; Owen y Kemp, 2023).

La justicia ambiental permite examinar la distribución de beneficios, cargas y poder de decisión. La minería puede generar empleo, inversión e ingresos fiscales, pero la contaminación, la pérdida de fuentes de agua y los riesgos para la salud pueden concentrarse en comunidades rurales con menor poder político y económico. La justicia distributiva pregunta quién se beneficia y quién asume los costos; la procedimental, quién participa en las decisiones; y la de reconocimiento, si se respetan las identidades, conocimientos y formas de vida de las comunidades (Haro Velarde y Salazar Adams, 2021; Owen y Kemp, 2023).

La participación social pierde sentido cuando las decisiones ya han sido adoptadas. Debe comenzar con información oportuna y comprensible, plazos razonables, acceso a asistencia técnica y posibilidades reales de incidir en los proyectos. Además, debe respetar los derechos colectivos y los procedimientos de consulta aplicables cuando las operaciones puedan afectar a comunidades indígenas (Jackson et al., 2023).

La licencia social para operar se refiere al grado de aceptación que una empresa obtiene de las comunidades. El concepto resulta problemático cuando se interpreta como una aprobación indirecta conseguida mediante beneficios, comunicación o inversión social. La aceptación comunitaria no sustituye los derechos, las autorizaciones legales, la participación ni la

reparación. Un enfoque centrado exclusivamente en la continuidad del negocio puede transformar la responsabilidad social en una estrategia de gestión reputacional (Owen y Kemp, 2023).

La gestión responsable del agua exige que las empresas reconozcan su dependencia de fuentes comunes y contribuyan a conservarlas. El enfoque integra eficiencia interna, consideración del contexto territorial, colaboración con otros usuarios y transparencia para la protección de las cuencas. Su principal aportación es superar una gestión limitada al perímetro de las operaciones mineras (Gilsbach et al., 2022; Robertson et al., 2024).

Las empresas, sin embargo, no deben convertirse de facto en autoridades de gobernanza hídrica. Pueden contribuir a fortalecer las instituciones, pero no sustituir las funciones estatales de asignación, regulación, supervisión, cumplimiento y protección de derechos. La participación empresarial debe fortalecer, y no condicionar ni desplazar, a las instituciones públicas (Robertson et al., 2024).

La transparencia es otro componente esencial. Los informes corporativos suelen presentar datos agregados sobre extracción, consumo, recirculación y descarga, pero esta información puede resultar insuficiente para evaluar el impacto de una unidad minera sobre una fuente específica. Gilsbach et al. (2022) identifican diferencias entre la información divulgada por las empresas y aquella que necesitan las comunidades, los gobiernos, los inversionistas y otros actores sociales.

La transparencia sustantiva debe identificar las fuentes de suministro, los volúmenes concesionados y extraídos, la recirculación, el consumo consuntivo, las descargas, la calidad del recurso y de los efluentes, los incidentes y las medidas de cierre. La información debe presentarse por unidad minera, mediante métodos consistentes y suficientemente claros para evitar interpretaciones erróneas (Gilsbach et al., 2022).

La capacidad estatal es necesaria para convertir los compromisos en resultados. La responsabilidad voluntaria no sustituye la inspección, las sanciones, las garantías de cumplimiento ni la protección de los usuarios. Los gobiernos pueden orientar el comportamiento empresarial mediante regulación, incentivos, información y espacios participativos, pero deben proteger el interés colectivo y corregir las asimetrías de poder entre empresas y comunidades (Jackson et al., 2023).

Método de investigación

El capítulo se desarrolló mediante una investigación cualitativa, teórica y documental. El diseño permitió integrar bibliografía sobre gobernanza hídrica, responsabilidad empresarial, justicia ambiental, gestión responsable del recurso, transparencia minera, prevención y remediación de daños.

La revisión comprendió publicaciones científicas, legislación, estadísticas oficiales de producción minera y disponibilidad de acuíferos, evaluaciones ambientales y documentos relacionados con el derrame del río Sonora. Se incluyeron antecedentes cuando fueron necesarios para explicar la evolución del problema, pero se priorizaron publicaciones de 2021 a 2024.

La búsqueda documental combinó términos en español e inglés relacionados con minería, agua, responsabilidad social empresarial, gobernanza hídrica, justicia ambiental, transparencia, jales, remediación, cierre de minas, río Sonora y gestión responsable del agua.

Los documentos se seleccionaron por su procedencia académica u oficial, pertinencia para la pregunta de investigación, claridad metodológica y utilidad para construir categorías conceptuales. Se excluyeron opiniones sin evidencia verificable y materiales sobre minería que no abordaban su relación con el agua.

El análisis se organizó en seis categorías: disponibilidad y competencia por el agua; eficiencia y recirculación; prevención de la contaminación; transparencia y rendición de cuentas; participación y justicia ambiental; y reparación, cierre y seguimiento. Posteriormente, estas categorías se relacionaron con las funciones de empresas, autoridades, comunidades e instituciones científicas.

Los hallazgos constituyen una síntesis teórica acotada al caso de Sonora. No pretenden medir el consumo de cada empresa ni establecer responsabilidades jurídicas individuales. La falta de información pública homogénea sobre entradas, recirculación, descargas y consumo limita la comparación entre unidades mineras y, al mismo tiempo, representa uno de los principales problemas de gobernanza identificados.

Resultados

El primer hallazgo es que el riesgo hídrico de la minería debe evaluarse territorialmente. No basta con conocer si una empresa posee una concesión o se mantiene dentro del volumen autorizado. También deben considerarse la disponibilidad del acuífero, las tendencias de abatimiento, la demanda de otros usuarios, la calidad del recurso, las sequías y sus efectos acumulativos (Conagua, 2023; Gilsbach et al., 2022).

Los balances negativos de varios acuíferos de Sonora indican que la autorización de nuevos proyectos o ampliaciones no debe sustentarse únicamente en la viabilidad económica o geológica del yacimiento. Extraer por encima de la disponibilidad de un acuífero deficitario transfiere riesgos a otros usuarios y agrava el deterioro de la fuente. La evaluación debe determinar cuánto recurso estará disponible, qué cambios de uso podrían ocurrir y qué medidas impedirán rebasar los límites territoriales (Conagua, 2023).

Una línea base independiente constituye un elemento central de la responsabilidad empresarial. Antes de iniciar o ampliar una operación deben documentarse los niveles y caudales, la calidad química, las fuentes de las comunidades, los ecosistemas dependientes y las variaciones estacionales. La línea base debe ser reproducible y conservarse para comparar los cambios durante la operación, el cierre y la posclausura (Gilsbach et al., 2022; Robertson et al., 2024).

Las investigaciones financiadas por la industria deben poder ser consultadas y cuestionadas públicamente. La autoridad debe validar los métodos, permitir el acceso a los datos primarios y promover evaluaciones adicionales. Las universidades y los centros públicos de investigación pueden reducir las asimetrías de información, siempre que se divulguen las fuentes de financiamiento y se preserve la autonomía científica (Jackson et al., 2023).

El segundo resultado es que la eficiencia hídrica debe evaluarse de manera permanente. Se requieren métricas a lo largo de los procesos que permitan identificar pérdidas y relacionar el consumo con la producción. El volumen total puede disminuir por una reducción temporal de la actividad, por lo que debe complementarse con indicadores como los metros cúbicos de agua por tonelada extraída o procesada (Gilsbach et al., 2022).

La eficiencia puede mejorarse mediante mantenimiento, detección de fugas, separación de corrientes, espesamiento de relaves, recuperación de agua de proceso y optimización de enjuagues y limpiezas. Cuando sea técnicamente viable, el uso de agua tratada o salobre en lugar de fuentes de mayor calidad puede reducir la presión sobre el abastecimiento, aunque requiere controles frente a corrosión, incrustaciones y otros efectos sobre los procesos (Robertson et al., 2024).

La recirculación es una estrategia relevante, pero debe evaluarse con precisión. Una tasa elevada no demuestra por sí misma un menor consumo cuando el circuito moviliza grandes volúmenes o registra pérdidas por evaporación, infiltración y almacenamiento en relaves. Los informes deben distinguir extracción, recirculación, consumo consuntivo, descarga y agua no recuperada (Gilsbach et al., 2022).

La reutilización interna tampoco elimina los riesgos de calidad. La acumulación de sales, metales y reactivos puede limitar los ciclos y exigir purgas o tratamientos adicionales. Las empresas deben demostrar que la recirculación reduce efectivamente las extracciones sin trasladar contaminantes hacia suelos, instalaciones de almacenamiento o cuerpos receptores (Robertson et al., 2024).

El tercer hallazgo es la necesidad de fortalecer la prevención. Las tuberías, áreas de lixiviación, instalaciones de relaves, canales, pozos de monitoreo, sistemas de contención y procedimientos de respuesta requieren inspección y mantenimiento. La evaluación debe abarcar la operación normal y escenarios de precipitación extrema, cortes de energía, movimientos geotécnicos, errores humanos y fallas simultáneas de varios controles (Macklin et al., 2023).

El derrame del río Sonora recuerda que las consecuencias de estas fallas pueden prolongarse durante años. El diagnóstico federal concluido en 2023 identificó impactos persistentes y cuestionó la suficiencia de la remediación inicial. Este antecedente sustenta la necesidad de redundancia, inspecciones independientes, sistemas de alerta y garantías financieras obligatorias para atender emergencias y efectos de largo plazo (Semarnat, 2023).

Los residuos mineros deben incorporarse a la evaluación de riesgos acumulativos. Después del cese de la producción, las instalaciones de relaves y las áreas de lixiviación permanecen y pueden requerir monitoreo durante

periodos prolongados. La movilización histórica de residuos puede generar contaminación crónica y afectar sistemas fluviales y poblaciones a gran escala espacial (Macklin et al., 2023).

El cuarto hallazgo es que la transparencia debe pasar de la información corporativa agregada a la divulgación por unidad minera. Deben publicarse las fuentes de suministro, los volúmenes, la calidad, los incidentes, las metas y el desempeño de cada sitio. Los datos requieren periodicidad, metodologías uniformes y formatos comparables y comprensibles para autoridades, especialistas y comunidades (Gilsbach et al., 2022).

La rendición de cuentas debe distinguir el volumen concesionado del efectivamente extraído. También debe identificar el origen del agua, el porcentaje recirculado, el consumo consuntivo, las descargas y el agua retenida en instalaciones de residuos. Sin estas distinciones no puede evaluarse con precisión la presión real de la actividad (Gilsbach et al., 2022; Robertson et al., 2024).

La transparencia exige reconocer los incidentes, las incertidumbres y los resultados desfavorables. Los informes que presentan únicamente logros o porcentajes de cumplimiento debilitan la confianza. Deben comunicarse oportunamente los derrames, excedencias, fallas, causas de las desviaciones y medidas correctivas (Gilsbach et al., 2022).

Los datos empresariales deben contrastarse mediante monitoreo público e independiente. Las empresas pueden contar con instrumentos y laboratorios propios, pero la verificación no debe depender exclusivamente del actor supervisado. Un sistema equilibrado integraría vigilancia gubernamental, laboratorios acreditados, revisión científica y observación comunitaria (Jackson et al., 2023).

El quinto hallazgo es la necesidad de participación social. Las comunidades organizadas pueden contribuir a identificar fuentes, puntos de monitoreo, riesgos y prioridades de remediación. Su experiencia local permite detectar cambios en caudal, color, sabor, vegetación, salud animal o productividad agrícola que los sistemas institucionales no siempre registran oportunamente (Haro Velarde y Salazar Adams, 2021).

El conocimiento comunitario respalda el análisis técnico, orientando las preguntas sobre qué es lo más importante y facilitando las decisiones sobre si las medidas consideradas son pertinentes. La combinación del co-

nocimiento científico y la experiencia territorial mediante procedimientos transparentes y significativos fortalece la gobernanza (Jackson et al., 2023).

Los mecanismos de denuncia deben ser independientes, accesibles y contar con plazos de respuesta. Los procedimientos administrados únicamente por las empresas pueden generar desconfianza. El sistema debe articular el registro, la investigación y la resolución de las quejas con la posibilidad de acudir a autoridades administrativas o judiciales (Isacowitz et al., 2022).

El apoyo social patrocinado por la empresa no debería estar condicionado a la participación, ni restringir la libertad para impugnar cualquier proyecto. Los beneficios pueden derivarse de obras, becas y programas comunitarios, pero nunca pueden sustituir el cumplimiento de los derechos de las poblaciones afectadas, ni la reparación o el reconocimiento de dichos derechos (Owen y Kemp, 2023).

El sexto hallazgo se refiere a la reparación integral. La respuesta debe abarcar la recuperación ambiental, el suministro de agua potable segura, la atención a la salud, las actividades productivas afectadas y las pérdidas económicas. La reparación no debe limitarse a pagos únicos, porque algunos efectos aparecen o persisten durante periodos prolongados (Haro Velarde y Salazar Adams, 2021; Semarnat, 2023).

El análisis del Fideicomiso Río Sonora muestra que construir infraestructura sin asegurar su operación resulta insuficiente. Las plantas de tratamiento, pozos, estaciones de monitoreo y servicios de saneamiento requieren personal, energía, mantenimiento y presupuesto. La reparación debe sostenerse durante el tiempo necesario y no concluir prematuramente (Haro Velarde y Salazar Adams, 2021).

Los fondos de reparación deben evaluarse con base en escenarios técnicos y conservar la posibilidad de ampliación a medida que surjan nuevos hechos. Su administración debe incluir representación social, auditorías sobre su utilización y la divulgación de sus gastos, así como criterios transparentes para identificar a los beneficiarios y medidas para la restauración (Haro Velarde y Salazar Adams, 2021; Semarnat, 2023).

Mientras los efectos puedan vincularse con el daño, la obligación de reparar debe continuar. Esta responsabilidad no desaparece porque se extinga un fideicomiso, cambie una administración o concluyan formalmente determinadas obras. Los instrumentos financieros deben impedir que los

costos futuros se transfieran al presupuesto público o a las comunidades afectadas (Owen y Kemp, 2023).

El séptimo hallazgo corresponde al cierre y la posclausura. Cada operación debe contar en todo momento con un plan actualizado y garantías financieras suficientes. El plan debe contemplar estabilización de relaves, gestión y tratamiento del agua, restauración, monitoreo de largo plazo y usos posteriores del sitio (DOF, 2023).

La garantía financiera debe actualizarse con el tiempo conforme evolucionen los costos, la infraestructura y los riesgos. Una cotización proporcionada al inicio de la operación puede no ser suficiente décadas después. Owen y Kemp (2023) sostienen que los recursos deben protegerse legalmente frente a la insolvencia, las ventas de activos o la reestructuración corporativa.

El comportamiento de la instalación, más que un cronograma uniforme, debe guiar el monitoreo posterior al cierre. Los riesgos derivados de los relaves, los drenajes y los contaminantes pueden persistir durante muchos años. Las garantías deben liberarse con base en evidencia independiente sobre la estabilidad física, la estabilidad química y la calidad del agua (MacKlin et al., 2023).

A partir de los resultados se propone un modelo integrado de gobernanza del agua en la minería compuesto por cuatro grupos de actores: (i) autoridades públicas; (ii) empresas mineras; (iii) comunidades; y (iv) instituciones científicas. El modelo se estructura en ocho componentes: planeación territorial, prevención, eficiencia, transparencia, monitoreo independiente, participación, reparación y cierre.

Las autoridades deben conservar la decisión final sobre concesiones, permisos, prioridades de uso, inspecciones, sanciones y protección de derechos. También deben integrar la información de las instituciones responsables del agua, la minería, el ambiente, la salud y la protección civil. La fragmentación institucional permite evaluar por separado componentes de una operación y perder de vista sus efectos sistémicos (Jackson et al., 2023).

Las empresas deben cumplir la legislación, prevenir daños, divulgar información oportunamente y reparar los impactos atribuibles a sus operaciones. Su participación en proyectos territoriales puede movilizar recursos y tecnología, pero no debe otorgarles control sobre la asignación del

agua ni sobre los organismos encargados de supervisarlas (Robertson et al., 2024).

Desde la planificación hasta el cierre y el período posterior al cierre, las comunidades también deben tener acceso a información comprensible, asistencia técnica y vías para participar. Por ejemplo, podrían crearse fondos independientes para financiar servicios de asesoría científica y legal sin seleccionar unilateralmente a los especialistas de la empresa (Jackson et al., 2023).

Las universidades y los centros de investigación pueden apoyar los estudios de línea base, el monitoreo, la evaluación tecnológica y el análisis de riesgos. Su participación requiere transparencia sobre el financiamiento, divulgación de conflictos de interés, acceso a datos y procedimientos de revisión científica (Jackson et al., 2023).

El modelo debe aplicarse a escala de cuenca y acuífero. Las decisiones sobre nuevas concesiones o ampliaciones deben considerar las extracciones acumuladas y la disponibilidad efectiva. En zonas deficitarias, la autorización debe condicionarse a reducciones demostrables, sustitución de fuentes, tratamiento, recirculación o recuperación de agua (Conagua, 2023).

Las compensaciones no deben limitarse a la compra de derechos sin evaluar las consecuencias sociales. Transferir una concesión agrícola puede reducir la extracción formal, pero afectar el empleo, la producción y las comunidades. La medida debe demostrar un beneficio territorial neto y evitar que la carga recaiga en actores con menor capacidad económica.

La colaboración público-privada puede apoyar redes de agua tratada, monitoreo, infraestructura de emergencia y rehabilitación ambiental. Estos proyectos deben perseguir objetivos públicos, contar con reglas transparentes, indicadores medibles y una distribución de costos acorde con las responsabilidades y beneficios de cada participante (Robertson et al., 2024).

Los indicadores de gobernanza deben incluir extracción efectiva, intensidad de consumo, porcentaje de recirculación, cantidad y tipo de descargas, número y gravedad de incidentes, cumplimiento de las medidas correctivas, cobertura del monitoreo independiente, tiempo de respuesta a quejas, grado de reparación y suficiencia de las garantías de cierre (Gilsbach et al., 2022).

Los indicadores deben interpretarse como tendencias y relacionarse con la salud de la fuente. Si una empresa mejora su intensidad hídrica, pero aumenta la extracción total debido a una expansión productiva, el desempeño corporativo debe evaluarse junto con la evolución del acuífero y de la cuenca y con las condiciones de los demás usuarios (Gilsbach et al., 2022).

El modelo distingue la responsabilidad individual de la colaboración. Cada empresa debe prevenir y remediar los impactos directamente relacionados con sus operaciones. La colaboración comienza cuando participa con otros actores para atender problemas compartidos que exceden su ámbito individual. Esta distinción evita que las alianzas sustituyan los compromisos propios.

La transparencia también debe distinguirse de la publicidad. La publicidad comunica resultados seleccionados por la organización; la transparencia permite conocer datos, metodologías, riesgos, incidentes y medidas correctivas. La confianza requiere que terceros puedan evaluar el desempeño incluso cuando los resultados sean desfavorables para la empresa (Gilsbach et al., 2022).

Por último, el modelo diferencia la continuidad operativa de la seguridad hídrica territorial. Garantizar el abastecimiento de una mina no demuestra que sus operaciones sean compatibles con la cuenca. La seguridad hídrica exige que la producción se ajuste a las necesidades humanas, productivas y ambientales del territorio (Robertson et al., 2024).

Conclusiones

La minería es una actividad económica estratégica para Sonora y para las cadenas nacionales e internacionales de suministro de cobre y otros minerales. Esta relevancia no elimina sus responsabilidades ambientales. La escala de las operaciones, la duración de los proyectos y su ubicación en territorios áridos exigen estándares estrictos de prevención, supervisión y rendición de cuentas.

La presión sobre diversos acuíferos demuestra que la gestión minera del agua no puede evaluarse únicamente dentro de cada instalación. Se requiere analizar a escala territorial las concesiones, extracciones, recirculaciones,

descargas, competencia entre usos, sequías, ecosistemas e impactos acumulativos.

El caso del río Sonora evidencia que los efectos de una falla pueden prolongarse durante años. Los planes de contingencia son insuficientes sin financiamiento sostenible, mantenimiento, vigilancia ambiental, atención a la salud y participación comunitaria. Las compensaciones de corto plazo no sustituyen la restauración integral.

La responsabilidad empresarial comienza con el cumplimiento, pero comprende también prevención, precaución, eficiencia, transparencia, participación, remediación y cierre. Los programas voluntarios o comunitarios no compensan el incumplimiento ni las obligaciones derivadas de un daño ambiental.

La gestión responsable exige que las empresas reconozcan su dependencia de fuentes compartidas y contribuyan a conservarlas. Sin embargo, la participación privada debe permanecer bajo supervisión pública. Las empresas pueden apoyar la gobernanza, pero no asumir las funciones de asignar recursos, establecer prioridades, supervisarse a sí mismas o decidir unilateralmente que una reparación ha sido suficiente.

La transparencia debe aplicarse a cada unidad minera e incluir las fuentes de abastecimiento, los volúmenes, la calidad del agua de entrada y salida, la recirculación, el consumo, las descargas, los incidentes, las alteraciones del uso del suelo y los indicadores de cierre. Los informes corporativos agregados no permiten relacionar una operación específica con el acuífero y las comunidades que dependen de él.

La participación comunitaria debe comenzar antes de la autorización y mantenerse durante la operación, la remediación, el cierre y la posclausura. Se requieren datos comprensibles, asistencia técnica independiente, mecanismos para incorporar observaciones y vías de rendición de cuentas externas a las empresas.

El modelo propuesto se sustenta en rectoría pública, responsabilidad empresarial, participación comunitaria y apoyo científico independiente. Sus componentes son planeación territorial, prevención, eficiencia, transparencia, monitoreo, participación, reparación y cierre.

La legitimidad futura de la minería en Sonora dependerá de su compatibilidad con la seguridad hídrica. Esto exige transitar del cumplimiento

formal hacia una gobernanza territorial preventiva, basada en evidencia, rendición de cuentas y equidad.

Referencias

- Comisión Nacional del Agua. (2023). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en los acuíferos del estado de Sonora. Gobierno de México.
- Diario Oficial de la Federación. (2023, 8 de mayo). Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley Minera, de la Ley de Aguas Nacionales, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, en materia de concesiones para minería y agua. Diario Oficial de la Federación.
- Gilsbach, L., Schütte, P., y Franken, G. (2022). Water reporting in mining: Are corporates losing sight of stakeholder interests? *Journal of Cleaner Production*, 345, 131016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131016>
- Haro Velarde, N., y Salazar Adams, A. (2021). Agua, contaminación y su manejo en la región norte de México: El caso del río Sonora. *Frontera Norte*, 33, e2136. <https://doi.org/10.33679/rfn.v1i1.2136>
- Isacowitz, J. J., Schmeidl, S., y Tabelin, C. B. (2022). The operationalisation of corporate social responsibility in a mining context. *Resources Policy*, 79, 103012. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103012>
- Jackson, S., Poelzer, G., Poelzer, G., y Noble, B. (2023). Mining and sustainability in the Circumpolar North: The role of government in advancing corporate social responsibility. *Environmental Management*, 72, 37-52. <https://doi.org/10.1007/s00267-022-01680-1>
- Macklin, M. G., Thomas, C. J., Mudbhakal, A., Brewer, P. A., Hudson-Edwards, K. A., Lewin, J., Scussolini, P., Eilander, D., Lechner, A., Owen, J., Bird, G., Kemp, D., y Mangalaa, K. R. (2023). Impacts of metal mining on river systems: A global assessment. *Science*, 381(6664), 1345-1350. <https://doi.org/10.1126/science.adg6704>
- Owen, J. R., y Kemp, D. (2023). A return to responsibility: A critique of the single actor strategic model of corporate social responsibility. *Journal of Environmental Management*, 341, 118024. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118024>
- Robertson, J., Côté, C., y Stevens, S. (2024). Examining reported company commitments to water stewardship: Working beyond the mine? *Resources Policy*, 96, 105193. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.105193>
- Secretaría de Economía y Turismo del Estado de Sonora. (2024). Minería: Sonora productora líder. Gobierno del Estado de Sonora.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2023). Dictamen diagnóstico ambiental del río Sonora. Gobierno de México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2024). Acciones para atender las afectaciones ambientales y sociales en la cuenca del río Sonora. Gobierno de México.