

2. Baja California: desalación y alianzas público-privadas para la seguridad hídrica*

JORGE ALEJANDRO SILVA RODRÍGUEZ DE SAN MIGUEL**



DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.493.02>

Resumen

Baja California presenta condiciones de aridez, precipitaciones escasas y una demanda creciente sobre los acuíferos derivada del crecimiento urbano y productivo. Además, varias zonas dependen de fuentes externas de abastecimiento. En este contexto, la desalación de agua de mar se plantea como una alternativa para diversificar el suministro de las ciudades costeras. El objetivo del capítulo es examinar, mediante una investigación teórica y documental, las condiciones necesarias para desarrollar proyectos de desalación a través de alianzas público-privadas orientadas a la seguridad hídrica. La revisión integra aportes sobre seguridad hídrica, innovación tecnológica, sostenibilidad ambiental, valor público y asignación contractual de riesgos. Los resultados muestran que la viabilidad de estos proyectos depende no solo de su capacidad de producción, sino también del consumo energético, la gestión de la salmuera, la confiabilidad operativa, la eficiencia de costos, la transparencia contractual y la rendición de cuentas. Se concluye que la desalación puede fortalecer la resiliencia hídrica de Baja California cuando forma parte de una estrategia que incluye reducción de pérdidas, reúso de aguas residuales, protección de los acuíferos y gestión de la demanda.

* 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: 571 97809938 ; correo: jasilva@ipn.mx

Palabras clave: *desalación, seguridad hídrica, alianzas público-privadas, infraestructura hídrica.*

Introducción

Las condiciones territoriales y climáticas de Baja California dificultan la disponibilidad continua de agua. La aridez, la baja precipitación, las altas tasas de evaporación y el carácter efímero de numerosos cuerpos superficiales limitan las posibilidades de abastecimiento mediante fuentes convencionales. Estas condiciones se agravan por el crecimiento poblacional y urbano, las actividades industriales, el turismo, la agricultura de riego y el deterioro de algunos acuíferos, lo que ha incrementado la presión sobre los sistemas estatales de suministro (Gobierno del Estado de Baja California, 2023; Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2024).

El reto hídrico no se manifiesta de manera uniforme en todo el estado. Mexicali depende en gran medida del río Colorado, mientras que Tijuana, Tecate, Playas de Rosarito y Ensenada reciben agua mediante combinaciones variables de fuentes subterráneas, transferencias regionales y fuentes superficiales de alcance limitado. Esta diversidad territorial impide aplicar una solución única y exige analizar las fuentes disponibles, la infraestructura existente y los patrones de demanda de cada municipio (Gobierno del Estado de Baja California, 2023).

La dependencia del río Colorado constituye un factor de vulnerabilidad para Baja California. La reducción de los escurrimientos, las sequías prolongadas, los efectos del cambio climático y los compromisos de distribución binacional pueden afectar el suministro urbano, industrial y agrícola. Además, trasladar agua desde Mexicali hacia la costa requiere infraestructura de bombeo y conducción con elevados costos energéticos, operativos y financieros (Gobierno del Estado de Baja California, 2023; UNESCO, 2024).

En las regiones costeras, los acuíferos son una fuente fundamental, pero su sobreexplotación puede provocar abatimiento de niveles, deterioro de la calidad y salinización. El Programa Estatal Hídrico 2022-2027 identifica acuíferos deficitarios y señala la necesidad de complementar las nuevas fuen-

tes con eficiencia, saneamiento, reúso y protección ambiental. La desalación se reconoce como una alternativa para fortalecer el abastecimiento costero, aunque su implementación requiere salvaguardas técnicas, financieras, ambientales y sociales (Gobierno del Estado de Baja California, 2023).

La información oficial sobre disponibilidad muestra restricciones para incrementar las extracciones subterráneas. Se han registrado balances negativos en los acuíferos de Ensenada, Guadalupe, Camalú, Colonia Vicente Guerrero y La Trinidad. Un modelo basado en nuevas perforaciones podría aumentar la presión sobre fuentes deterioradas y favorecer procesos de salinización e intrusión marina en los sistemas costeros (Comisión Nacional del Agua [Conagua], 2024).

Ante estas condiciones, la desalación de agua de mar constituye una alternativa para diversificar las fuentes. Su principal ventaja es que utiliza un recurso cuya disponibilidad no depende directamente de las precipitaciones ni de la recarga de los acuíferos en el corto plazo. Esta característica resulta especialmente relevante para ciudades costeras afectadas por sequías, agotamiento de fuentes subterráneas y limitaciones de los sistemas regionales de transferencia (Cai et al., 2023; Soni et al., 2025).

La desalación no elimina el riesgo hídrico, sino que sustituye parte de la dependencia climática por dependencias tecnológicas, energéticas, financieras y ambientales. Aunque el agua puede producirse de manera relativamente constante, se requieren electricidad, sistemas de bombeo, membranas, productos químicos, personal especializado, mantenimiento y tuberías de conducción. Además, el proceso genera salmuera con alta concentración de sales, cuya gestión debe evitar impactos sobre los ecosistemas marinos (Almasoudi y Jamoussi, 2024; Ogunbiyi et al., 2021).

El caso de Ensenada constituye un antecedente relevante. La planta desalinizadora se desarrolló mediante un esquema de alianza público-privada que incluyó el proyecto ejecutivo, la construcción, el suministro de equipos, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento. La instalación, con capacidad nominal de 250 litros por segundo, inició operaciones en 2018. Su incorporación amplió el portafolio de fuentes, aunque el sistema continuó requiriendo rehabilitación, interconexión, almacenamiento y mejoras en la distribución (Fondo Nacional de Infraestructura [Fonadin], 2021; Gobierno del Estado de Baja California, 2023). En este capítulo, la planta

desalinizadora de Ensenada constituye el antecedente concreto utilizado para examinar la aplicación de la desalación mediante una alianza público-privada en Baja California. Las demás referencias a esta tecnología se presentan como análisis general de sus condiciones de viabilidad y no como evaluación empírica de otras plantas del estado.

Las plantas desalinizadoras pueden requerir inversiones superiores a la capacidad presupuestaria inmediata de los organismos públicos. Por ello, las alianzas público-privadas se consideran un mecanismo para movilizar capital, integrar tecnología y distribuir responsabilidades. El socio privado puede asumir funciones de financiamiento, diseño, construcción, operación y mantenimiento, mientras que el sector público conserva la planeación, la regulación, la supervisión y la protección de los usuarios (Lima et al., 2021; Ma et al., 2023).

Una alianza público-privada no garantiza por sí misma resultados superiores a los de la inversión pública convencional. Los contratos de largo plazo pueden generar rigidez, pasivos fiscales, asimetrías de información y dependencia del operador. La literatura sobre alianzas público-privadas advierte que, cuando los riesgos se asignan de manera deficiente, el sector público puede absorber determinados sobrecostos o variaciones de demanda mientras el operador privado conserva ingresos contractualmente protegidos. (Global Infrastructure Hub, 2020; Lima et al., 2021).

El capítulo analiza las condiciones tecnológicas, económicas, ambientales, institucionales y sociales necesarias para que la desalación contribuya a la seguridad hídrica de Baja California mediante alianzas público-privadas. La pregunta que orienta el estudio es la siguiente: ¿bajo qué condiciones puede una alianza de este tipo generar valor público, garantizar la viabilidad de una planta desalinizadora y reducir la vulnerabilidad hídrica sin trasladar costos y riesgos desproporcionados al Estado, los usuarios o los ecosistemas?

El argumento central sostiene que una planta desalinizadora no puede evaluarse únicamente por su capacidad nominal. Deben considerarse la cantidad, la calidad y la continuidad del suministro; el costo por metro cúbico; el consumo energético; la gestión de la salmuera; la asignación contractual de riesgos; y su relación con otras estrategias de gestión. Con base en la literatura revisada, los autores sostienen que la desalación resulta más

adecuada cuando forma parte de una política integrada y no desplaza la reducción de fugas, el reúso de aguas residuales, la protección de los acuíferos ni la gestión de la demanda (Gobierno del Estado de Baja California, 2023; UNESCO, 2024).

Aproximación teórica y conceptual

La seguridad hídrica puede entenderse como la capacidad de una sociedad para disponer de agua suficiente y de calidad adecuada, sostener un desarrollo económico equitativo, proteger los medios de vida y conservar los ecosistemas frente a la variabilidad climática. El concepto integra dimensiones ambientales, sociales, económicas e institucionales, por lo que no puede alcanzarse únicamente mediante la ampliación de la oferta (UNESCO, 2024).

La seguridad hídrica debe considerar simultáneamente la disponibilidad, la calidad, la continuidad, la accesibilidad, la asequibilidad y la resiliencia de los sistemas. La existencia de una fuente adicional no garantiza un acceso efectivo cuando las redes presentan fugas, baja presión, almacenamiento insuficiente o problemas de operación y mantenimiento (Gobierno del Estado de Baja California, 2023; UNESCO, 2024).

La desalación es el proceso mediante el cual se eliminan sales y otros componentes del agua de mar o del agua salobre para obtener agua con características adecuadas para un uso determinado. Las tecnologías se dividen principalmente en procesos térmicos y de membrana. Los primeros utilizan evaporación y condensación; los segundos emplean barreras selectivas y presión para separar las sales disueltas (Almasoudi y Jamoussi, 2024; Cai et al., 2023).

La ósmosis inversa se ha convertido en una de las tecnologías más utilizadas para desalar agua de mar. El proceso hace pasar el agua a través de membranas semipermeables que retienen la mayor parte de las sales. Su expansión se relaciona con mejoras en la eficiencia energética, el pretratamiento, la recuperación de presión, la automatización y la vida útil de las membranas (Cai et al., 2023; Soni et al., 2025).

Una planta de ósmosis inversa comprende etapas de captación, pretratamiento, bombeo de alta presión, separación por membranas, recuperación de energía, postratamiento y disposición de la salmuera. Cada etapa influye en los costos, la calidad del agua, el consumo energético y los posibles impactos ambientales. El desempeño depende, entre otros factores, de la salinidad, la temperatura, el diseño de la captación, la calidad del pretratamiento, la tasa de recuperación y el mantenimiento (Almasoudi y Jamoussi, 2024; Cai et al., 2023).

La diversificación mediante desalación reduce la dependencia de las precipitaciones en el corto plazo. Sin embargo, la infraestructura sigue expuesta a cortes de energía, fallas de tuberías, necesidades de mantenimiento, floraciones algales nocivas, contaminación de la captación y escasez de repuestos o personal especializado. Por ello, la resiliencia debe evaluarse para el sistema completo y no únicamente para la planta (Gobierno del Estado de Baja California, 2023; Soni et al., 2025).

El sistema incluye también estaciones de bombeo, reservorios, tuberías de conducción y la red urbana. Una falla en cualquiera de estos componentes puede restringir la entrega, incluso cuando la planta continúa produciendo. En consecuencia, el análisis de resiliencia debe abarcar todo el sistema de abastecimiento (Gobierno del Estado de Baja California, 2023; Soni et al., 2025).

Uno de los principales desafíos de la desalación es el consumo de energía. La electricidad representa una parte significativa de los costos debido a la presión necesaria para separar las sales. Aunque los sistemas de recuperación de energía y las membranas modernas han reducido esta demanda, la desalación de agua de mar continúa siendo más intensiva en energía que el tratamiento de numerosas fuentes superficiales o de aguas residuales municipales (Cai et al., 2023; Shokri y Sanavi Fard, 2022).

La dependencia energética genera riesgos financieros por la volatilidad de los precios y riesgos ambientales cuando la electricidad procede de combustibles fósiles. La incorporación de energías renovables puede reducir estos impactos, pero requiere considerar la intermitencia, el almacenamiento, el respaldo y la estabilidad operativa (Shokri y Sanavi Fard, 2022).

El potencial solar de Baja California ofrece oportunidades para establecer contratos de suministro renovable y sistemas híbridos. No obstante, los paneles solares por sí solos no garantizan la operación continua de una planta. La generación renovable debe integrarse a la red, respaldarse mediante almacenamiento u otras fuentes y diseñarse para mantener la estabilidad del abastecimiento urbano (Shokri y Sanavi Fard, 2022; Soni et al., 2025).

La descarga de salmuera representa otro desafío. El proceso produce una corriente con una concentración de sales superior a la del agua de mar de origen y puede contener residuos de los productos químicos utilizados en el pretratamiento, la limpieza de membranas y el control biológico. Una descarga sin dispersión suficiente puede alterar la salinidad, la temperatura y la composición química del entorno local (Gupta et al., 2025; Panagopoulos y Haralambous, 2020).

Los impactos varían según el volumen y la concentración de la descarga, las corrientes, la profundidad, la temperatura y la sensibilidad de los ecosistemas. Los organismos bentónicos, la vegetación marina y otras especies con movilidad limitada presentan una mayor exposición. Las zonas con poca circulación o con varias descargas cercanas poseen un mayor potencial de impactos acumulativos y requieren especial atención (Gupta et al., 2025; Panagopoulos y Haralambous, 2020).

Las alternativas para gestionar la salmuera incluyen la descarga mediante difusores, la dilución controlada, la recuperación adicional de agua, la concentración, la cristalización y la recuperación de minerales. Todas estas opciones implican costos, consumo de energía y generación de residuos. Los sistemas de descarga líquida cero pueden reducir los vertidos, pero presentan elevados requerimientos energéticos y producen residuos sólidos que deben manejarse adecuadamente (Ogunbiyi et al., 2021).

La elección de una estrategia debe basarse en evaluaciones ambientales y de ciclo de vida. Reducir la descarga de salmuera no es suficiente si la alternativa incrementa considerablemente las emisiones, el consumo energético o la generación de residuos. La sostenibilidad exige evitar la transferencia de impactos de un medio ambiental a otro (Almasoudi y Jamoussi, 2024; Ogunbiyi et al., 2021).

Los sistemas de captación marina también pueden generar impactos. Las tomas abiertas pueden atrapar o arrastrar organismos, mientras que las captaciones subsuperficiales ofrecen cierta filtración natural y características ambientales distintas. Su viabilidad depende de las condiciones geológicas, el caudal requerido y los costos, además de su posible interacción con los acuíferos costeros (Almasoudi y Jamoussi, 2024; Soni et al., 2025).

La desalación suele presentar costos de capital y operación superiores a los de numerosas fuentes convencionales. Deben considerarse la construcción, la energía, los productos químicos, el reemplazo de membranas, el personal, la supervisión ambiental, las tuberías de conducción, los tanques de almacenamiento y las obras necesarias para integrar el agua producida a la red (Cai et al., 2023; Soni et al., 2025).

Los costos de producción dependen de componentes civiles y electromecánicos, la formación de incrustaciones, la tecnología utilizada, la salinidad, la altura y distancia de bombeo, la eficiencia energética y las condiciones financieras locales. Una instalación sobredimensionada que opere por debajo de su capacidad puede producir agua a un costo excesivo, mientras que una instalación subdimensionada puede no generar los beneficios esperados (Cai et al., 2023).

Una alianza público-privada es una relación contractual de largo plazo en la que una entidad privada asume responsabilidades significativas de financiamiento, diseño, construcción, operación o mantenimiento para proporcionar infraestructura o servicios. La remuneración puede provenir de pagos públicos, tarifas, ventas de agua o una combinación de mecanismos (Lima et al., 2021; Ma et al., 2023).

A diferencia de la contratación tradicional, una alianza puede integrar varias fases del ciclo de vida. La empresa que construye y opera la planta durante un periodo prolongado tiene incentivos para adoptar un diseño que reduzca los costos de mantenimiento, siempre que el contrato vincule su remuneración con indicadores de disponibilidad, calidad, eficiencia y conservación de la infraestructura (Lima et al., 2021).

La evidencia indica que los resultados de las alianzas público-privadas en el sector hídrico dependen de la capacidad institucional, la competencia, la regulación, la transparencia y la asignación de riesgos. No existe evidencia suficiente para afirmar que la participación privada sea intrínsecamente más

eficiente que la gestión pública. Los beneficios esperados pueden no materializarse cuando existen contratos opacos, garantías públicas excesivas o una supervisión gubernamental insuficiente (Lima et al., 2021; Ma et al., 2023).

La asignación contractual de riesgos constituye un principio fundamental. Cada riesgo debe recaer en la parte con mayor capacidad para prevenirlo, controlarlo, mitigarlo o absorberlo a un costo razonable. Una transferencia excesiva al socio privado puede encarecer el contrato, mientras que una retención excesiva por parte del Estado puede eliminar la justificación económica de la alianza (Global Infrastructure Hub, 2020).

Los riesgos de diseño, construcción y desempeño operativo pueden asignarse principalmente a la empresa, porque esta controla las decisiones correspondientes. El riesgo de disponibilidad puede vincularse con pagos condicionados a la entrega efectiva del agua y al cumplimiento de indicadores de desempeño previamente establecidos (Global Infrastructure Hub, 2020; Lima et al., 2021).

El riesgo energético requiere fórmulas específicas. Si una empresa asume durante décadas toda la volatilidad futura del precio de la electricidad, probablemente incorporará una prima de riesgo elevada o buscará renegociar el contrato. Si el Estado compensa cualquier aumento, el operador pierde incentivos para mejorar la eficiencia. Una distribución equilibrada puede utilizar bandas de variación, metas de consumo y mecanismos para compartir costos y beneficios (Global Infrastructure Hub, 2020).

El riesgo de demanda también debe analizarse. Un contrato que obligue al organismo público a comprar toda la capacidad disponible puede generar pagos por agua que no se utiliza. En cambio, un esquema basado únicamente en el volumen consumido puede dificultar el financiamiento. Una alternativa es combinar un pago por disponibilidad con un componente variable asociado con el volumen efectivamente entregado (Global Infrastructure Hub, 2020; Lima et al., 2021).

El desempeño financiero constituye solo una parte del valor público. Un proyecto genera valor cuando mejora la continuidad, la calidad y el acceso; reduce la presión sobre fuentes frágiles; protege el ambiente; y utiliza eficientemente los recursos públicos. Estas dimensiones deben evaluarse junto con

los costos monetarios, los objetivos y los resultados de la alianza al compararla con la contratación tradicional (Lima et al., 2021; Ma et al., 2023).

La asequibilidad debe ocupar un lugar central en el análisis. El costo del agua desalinizada puede elevar las tarifas necesarias para recuperar la inversión y la operación, lo que afecta de manera desproporcionada a los hogares de menores ingresos. Si el Estado absorbe la totalidad del costo, puede comprometer la sostenibilidad fiscal del servicio (UNESCO, 2024).

Los subsidios deben diseñarse de manera transparente y focalizada. Una estructura tarifaria progresiva puede proteger el consumo básico y cobrar más a los usuarios con consumos superiores. También es necesario identificar qué sectores generan el crecimiento de la demanda. El turismo, los desarrollos industriales y el sector inmobiliario que se benefician de la nueva infraestructura deben asumir una parte proporcional de sus costos (UNESCO, 2024).

La gobernanza de una alianza comprende transparencia, participación, regulación y rendición de cuentas. Los contratos deben establecer parámetros de calidad y continuidad, indicadores de eficiencia energética y desempeño ambiental, así como reglas para las modificaciones, la terminación anticipada, la resolución de controversias y la transferencia de activos (Global Infrastructure Hub, 2020; Lima et al., 2021).

Los compromisos fiscales, las garantías y los mecanismos de pago deben ser públicos. Las obligaciones presupuestarias y los criterios de desempeño no deben ocultarse mediante cláusulas de confidencialidad comercial. Además, se requieren equipos públicos con capacidad técnica, financiera, jurídica y ambiental para reducir las asimetrías de información frente al operador privado (Lima et al., 2021).

Método de investigación

El capítulo se desarrolló mediante una investigación teórica y documental de naturaleza cualitativa. La revisión integró estudios sobre seguridad hídrica, ingeniería de desalación, gestión ambiental, economía de la infraestructura y alianzas público-privadas.

Los documentos analizados incluyeron artículos científicos, instrumentos de planeación, información oficial sobre la disponibilidad de los acuíferos, fichas de infraestructura y literatura publicada principalmente entre 2020 y 2025. Se incorporaron materiales anteriores cuando resultaron necesarios para explicar antecedentes o conceptos.

La búsqueda se realizó con palabras clave relacionadas con desalación, ósmosis inversa, seguridad hídrica, salmuera, energía renovable, conducción de agua, asociaciones público-privadas, asignación de riesgos, Ensenada y Baja California. También se utilizaron términos equivalentes en inglés para ampliar la cobertura de la literatura académica.

Los criterios de inclusión fueron la relación con la pregunta de investigación, la actualidad, la procedencia académica o gubernamental y la claridad metodológica. Se excluyeron textos promocionales, opiniones sin sustento documental y materiales que presentaban la desalación como una solución universal sin comparar sus costos, impactos ambientales y requerimientos institucionales.

La información se organizó en cinco categorías: contribución a la seguridad hídrica; viabilidad tecnológica y energética; impacto ambiental; arreglos contractuales y financieros; y gobernanza. Estas categorías permitieron relacionar la dimensión técnica con el contexto institucional y social de los proyectos.

El debate conceptual se aplicó al caso de la planta desalinizadora en Ensenada. La revisión se centró en su tamaño, método de entrega y papel en el sistema de suministro de agua. No se realizó una revisión contractual detallada porque no se dispuso de datos de pago completos y uniformes, costos de ejecución actualizados, cambios contractuales, datos operativos de energía e información sobre desempeño ambiental.

Los resultados corresponden a una síntesis interpretativa. No sustituyen los estudios detallados de viabilidad técnica, económica, ambiental y social requeridos para proyectos específicos. Su finalidad es proponer criterios generales sobre cuándo se justifica una planta desalinizadora y cómo debe estructurarse una alianza público-privada.

Resultados

El análisis muestra que la desalación puede contribuir a la seguridad hídrica de Baja California, aunque su pertinencia depende del contexto territorial. Resulta especialmente relevante para ciudades costeras con sequías recurrentes, restricciones para incrementar la extracción subterránea, medidas previas de gestión de la demanda y capacidad para integrar el agua producida a los sistemas existentes (Gobierno del Estado de Baja California, 2023; Soni et al., 2025).

La principal ventaja es la diversificación. Una ciudad que combina acuíferos, trasvases, reúso y desalación reduce su dependencia de una sola fuente. Esta configuración puede disminuir la exposición a sequías, interrupciones de acueductos o limitaciones en la disponibilidad del río Colorado, aunque requiere coordinar sistemas con costos y características operativas diferentes (Gobierno del Estado de Baja California, 2023).

La planta desalinizadora de Ensenada aportó una fuente adicional con capacidad nominal de 250 litros por segundo. Su suministro complementa, pero no sustituye, a las demás fuentes y puede adquirir valor estratégico durante periodos de escasez. El caso demuestra que la desalación puede integrarse a un sistema urbano, pero también que el desempeño depende de la conducción, el almacenamiento y la distribución, además de la operación de la planta (Fonadin, 2021; Gobierno del Estado de Baja California, 2023).

El primer criterio para justificar un proyecto es demostrar su necesidad. Las autoridades deben elaborar balances realistas entre oferta y demanda, examinar el crecimiento urbano y modelar los efectos de las sequías antes de construir una planta. No debe sobredimensionarse la capacidad con base en proyecciones de crecimiento sin incorporar mecanismos eficaces de gestión de la demanda (UNESCO, 2024).

El segundo criterio es la comparación con alternativas. La desalación debe evaluarse frente a la reducción de fugas, la medición, la gestión de la demanda, el tratamiento y reúso de aguas residuales y la rehabilitación de fuentes existentes. En determinados contextos, recuperar el agua que se pierde puede resultar menos costoso y menos intensivo en energía que

desalar agua de mar (Gobierno del Estado de Baja California, 2023; UNESCO, 2024).

El reúso merece especial consideración. Las aguas residuales tratadas pueden destinarse a aplicaciones industriales, agrícolas, comerciales y urbanas que no requieren calidad potable. Esta sustitución permite reservar agua de mayor calidad para el consumo humano y puede implicar menores requerimientos energéticos que la desalación, según la calidad del efluente y el tratamiento necesario (Cai et al., 2023; Gobierno del Estado de Baja California, 2023).

El tercer criterio es la adicionalidad. La nueva fuente debe reducir de manera material la vulnerabilidad del sistema. El agua desalinizada aporta mayor valor cuando permite sustituir extracciones subterráneas o disminuir la dependencia de fuentes importadas, y no cuando solo sostiene un crecimiento adicional de la demanda. El proyecto debe vincularse con metas verificables de sustitución, recuperación o conservación de fuentes (UNESCO, 2024).

El cuarto criterio es la modularidad. El desarrollo por etapas permite ajustar la capacidad a la demanda efectiva, disminuye el riesgo de pagar por infraestructura ociosa y facilita la incorporación de innovaciones tecnológicas. También permite evaluar el desempeño operativo y ambiental antes de ampliar el proyecto (Soni et al., 2025).

El quinto criterio es la confiabilidad. Los contratos deben especificar la disponibilidad, la cantidad y calidad del agua, el consumo de energía, el mantenimiento y los tiempos de recuperación. Una planta no debe considerarse exitosa solamente porque alcance ocasionalmente su capacidad nominal; importa el volumen efectivamente entregado durante el año y, en particular, en los periodos de máxima demanda (Global Infrastructure Hub, 2020; Lima et al., 2021).

Cuando resulte pertinente, el socio privado puede asumir el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento. Esta integración mejora la coordinación entre las fases, pero debe acompañarse de penalizaciones por retrasos, fallas o incumplimientos. La remuneración debe vincularse con resultados verificables y no solo con la existencia física de la infraestructura (Lima et al., 2021).

El pago por capacidad puede proporcionar certidumbre de ingresos y preservar el incentivo para mantener la planta disponible. Debe efectuarse plenamente solo cuando la instalación esté lista y opere dentro de los parámetros contractuales. El esquema puede incorporar deducciones por fallas atribuibles al operador y un componente variable asociado con el volumen solicitado y efectivamente entregado (Global Infrastructure Hub, 2020).

La calidad del agua debe medirse en el punto de entrega. El contrato debe definir los parámetros, la frecuencia de muestreo, los procedimientos y la responsabilidad de cada parte. La red de distribución continúa bajo la responsabilidad del operador público, mientras que la parte privada responde por la calidad producida y entregada en el punto contractual (Lima et al., 2021).

Los indicadores de desempeño deben incluir el consumo energético, expresado, por ejemplo, en kilovatios-hora por metro cúbico producido. Los ahorros derivados de una mayor eficiencia pueden compartirse entre el operador y el organismo público para mantener incentivos a la innovación sin eliminar los beneficios para las finanzas públicas (Cai et al., 2023; Shokri y Sanavi Fard, 2022).

El abastecimiento con energía renovable puede reducir la huella climática y la vulnerabilidad ante cambios en los precios de los combustibles. Sin embargo, su procedencia debe demostrarse mediante mecanismos verificables y el sistema debe contar con respaldo suficiente para mantener la operación cuando disminuya la generación renovable, como señalan Shokri y Sanavi Fard (2022).

La gestión de la salmuera debe establecerse como una obligación permanente de desempeño y no limitarse a una condición inicial de autorización. Se requiere monitorear la salinidad, la temperatura, los productos químicos y las variables biológicas en la zona de descarga. Los resultados deben ser revisados por la autoridad y publicados para fortalecer la rendición de cuentas (Gupta et al., 2025; Panagopoulos y Haralambous, 2020).

Los impactos acumulativos deben incorporarse a la evaluación. Cada descarga no puede analizarse de manera aislada cuando existen o se proyectan varias plantas en un mismo corredor costero. El gobierno estatal debe evaluar la capacidad de carga del ecosistema, ordenar la localización de los

proyectos y establecer sistemas coordinados de monitoreo (Gupta et al., 2025).

La asignación de riesgos debe evitar dos extremos. El primero es transferir al sector privado riesgos que no puede gestionar, lo que incrementa el precio del contrato. El segundo es garantizar todos sus ingresos y costos, porque ello reduce los incentivos para operar eficientemente (Global Infrastructure Hub, 2020).

Los riesgos de construcción, tecnología, mantenimiento y desempeño deben recaer principalmente en la empresa. Los riesgos derivados de decisiones soberanas o públicas corresponden al Estado. Los riesgos compartidos, como la energía o la demanda, requieren fórmulas equilibradas definidas desde el contrato (Global Infrastructure Hub, 2020).

La evaluación financiera debe abarcar todo el ciclo de vida. La inversión inicial es insuficiente para estimar el costo real. Deben incorporarse los pagos de largo plazo, la energía, el mantenimiento, el reemplazo de membranas, la supervisión, los subsidios públicos y los posibles costos ambientales (Cai et al., 2023; Lima et al., 2021).

El financiamiento privado suele tener un costo superior al financiamiento público. Esta diferencia debe compensarse mediante una transferencia efectiva de riesgos o una mejor operación. La conveniencia del esquema debe reevaluarse cuando una parte importante de la inversión proviene del Estado y las garantías de pago o la mayoría de los riesgos permanecen en el sector público (Lima et al., 2021; Ma et al., 2023).

Los pasivos contingentes requieren transparencia. Una garantía sin costo inmediato puede convertirse posteriormente en una obligación presupuestaria. Los proyectos deben revelar las condiciones que activarían pagos extraordinarios, rescates o compensaciones (Global Infrastructure Hub, 2020).

La asequibilidad determina la legitimidad del proyecto. El costo del agua desalinizada no debe distribuirse de manera uniforme sin considerar la capacidad de pago ni los beneficios obtenidos por cada grupo de usuarios. Los hogares deben contar con un volumen básico suficiente y asequible (UNESCO, 2024).

Los sectores que dependen de la nueva capacidad —incluidos los desarrollos inmobiliarios, hoteleros e industriales— pueden contribuir median-

te derechos de conexión, aportaciones o contratos específicos. De esta manera se evita que la población existente subsidie indiscriminadamente nuevas actividades económicas y se alinean los beneficios privados con las obligaciones de financiamiento.

La transparencia contractual constituye otra condición esencial. La población debe conocer la duración del contrato, el mecanismo de pago, las garantías, los indicadores de desempeño, las penalizaciones y los procedimientos de renegociación. La confidencialidad debe limitarse a información comercial legítima y no ocultar obligaciones fiscales ni resultados de desempeño (Lima et al., 2021; Ma et al., 2023).

La autoridad contratante necesita capacidad técnica para supervisar el proyecto. La desalación y el financiamiento son campos complejos que pueden generar asimetrías frente al operador privado. Una agencia sin personal especializado dependerá excesivamente de la información producida por la empresa y tendrá menor capacidad para vigilar y sancionar (Lima et al., 2021).

La supervisión puede complementarse con auditorías independientes y la participación de universidades. Las instituciones académicas y de investigación pueden apoyar el monitoreo marino, la evaluación energética y el análisis del desempeño, siempre que cuenten con información suficiente sobre las dimensiones técnicas y contractuales.

La consulta social debe realizarse antes de adjudicar el proyecto. Las comunidades costeras, los pescadores, las organizaciones ambientales, los usuarios y los sectores productivos pueden aportar información sobre impactos, necesidades y alternativas. Una participación posterior a la decisión reduce su utilidad y puede incrementar el conflicto.

Los contratos también deben regular las modificaciones. Las alianzas de largo plazo requieren cierta flexibilidad, pero las condiciones surgidas de la competencia no deben transformarse mediante renegociaciones integrales. Todo cambio relevante debe explicar de manera transparente sus causas, costos, riesgos y beneficios (Global Infrastructure Hub, 2020; Lima et al., 2021).

El análisis identifica siete condiciones para que una alianza público-privada de desalación contribuya a la seguridad hídrica: necesidad demostrada, comparación con alternativas, viabilidad técnica y financiera,

sostenibilidad energética, protección ambiental, asequibilidad y gobernanza transparente.

Estas condiciones se encuentran interrelacionadas. Una planta tecnológicamente eficiente puede resultar inviable si genera costos sociales regresivos. Un contrato rentable pierde valor público cuando el ecosistema receptor no puede asimilar la descarga. Del mismo modo, un proyecto ambientalmente bien gestionado aporta poco si no disminuye la presión sobre las fuentes existentes.

La desalación debe formar parte de un portafolio amplio de soluciones para Baja California: medición, reducción de fugas, tarifas orientadas a la eficiencia, reúso, rehabilitación e interconexión de redes, protección y recarga de acuíferos y, cuando resulte pertinente, desalación. Esta combinación reduce la dependencia de una sola infraestructura y amplía la capacidad de respuesta ante distintos escenarios (Gobierno del Estado de Baja California, 2023).

También es necesario definir el destino del agua producida. Puede incorporarse al abastecimiento urbano o sustituir usos convencionales de determinados sectores productivos. Cuando la sustitución es verificable y no amplía el consumo total, esta segunda vía puede liberar agua de mayor calidad para usos prioritarios.

La planeación debe incorporar escenarios de cambio climático, crecimiento y contingencia, en lugar de limitarse a la demanda promedio. Es necesario evaluar los efectos de una falla prolongada, un aumento de los costos energéticos, una disminución de la demanda o cambios en las condiciones ambientales (Soni et al., 2025; UNESCO, 2024).

El propósito de una alianza no es eliminar el gasto público, sino estructurar capacidades privadas para alcanzar fines públicos. La infraestructura se paga finalmente mediante tarifas, impuestos, contribuciones o compromisos gubernamentales. El objetivo debe ser una combinación equilibrada de desempeño, innovación, calidad y distribución de riesgos (Lima et al., 2021; Ma et al., 2023).

Conclusiones

La inseguridad hídrica estructural de Baja California se relaciona con la aridez, la presión sobre los acuíferos, el crecimiento urbano y productivo y la dependencia de fuentes externas. La desalación constituye una alternativa legítima para diversificar el suministro de las ciudades costeras, especialmente cuando existen límites para incrementar la extracción subterránea.

La desalación no está exenta de riesgos. Reduce la dependencia de las precipitaciones, pero incrementa la dependencia de la tecnología, la energía y el capital. La abundancia de agua de mar no garantiza la continuidad del servicio, pues la infraestructura puede fallar, requerir mantenimiento o enfrentar interrupciones eléctricas y de conducción.

Los principales impactos ambientales se relacionan con la captación marina, el consumo de energía y productos químicos y la descarga de salmuera. Pueden reducirse mediante tecnologías adecuadas, diseños apropiados, incorporación verificable de energía renovable y monitoreo continuo, pero no deben minimizarse ni evaluarse de manera fragmentada.

Las alianzas público-privadas pueden movilizar inversión, tecnología y capacidades especializadas, pero sus resultados dependen de la competencia, la transparencia, una distribución equilibrada de riesgos y la capacidad gubernamental para administrar los contratos. La participación privada no exime al Estado de garantizar el derecho humano al agua ni de proteger los ecosistemas.

El precedente de Ensenada demuestra que la desalación puede incorporarse al abastecimiento urbano y ampliar el portafolio de fuentes. También evidencia que el desempeño debe evaluarse mediante la disponibilidad efectiva, los costos, el mantenimiento, la calidad del agua, el consumo energético y la integración con la red.

La planeación debe colocar la asequibilidad en primer plano. Los costos no pueden trasladarse de manera uniforme a los hogares, especialmente cuando parte de la nueva demanda procede de desarrollos inmobiliarios, turísticos o industriales. Los beneficiarios de la expansión deben asumir una proporción adecuada del financiamiento.

La desalación debe considerarse un complemento de la reducción de fugas, el reúso, la rehabilitación de redes y la protección de los acuíferos, no un sustituto de estas medidas. Construir nuevas plantas sin mejorar la eficiencia puede ampliar la oferta y, al mismo tiempo, mantener los factores estructurales que generan vulnerabilidad.

Una alianza público-privada contribuirá a la seguridad hídrica cuando exista una necesidad clara y comprobada; se compare con otras opciones; garantice la viabilidad técnica y energética; gestione los impactos ambientales; proteja la asequibilidad; y opere bajo una gobernanza transparente.

El éxito de un proyecto no se mide solo en litros. El valor público se genera mediante una planta que proporciona agua de manera confiable, reduce la presión sobre fuentes frágiles, mantiene los costos dentro de rangos socialmente aceptables y protege los ecosistemas costeros. En estas condiciones, la desalación puede formar parte de una estrategia de resiliencia hídrica para Baja California.

Referencias

- Almasoudi, S., y Jamoussi, B. (2024). Desalination technologies and their environmental impacts: A review. *Sustainable Chemistry One World*, 1, 100002. <https://doi.org/10.1016/j.scowo.2024.100002>
- Cai, Y., Wu, J., Shi, S. Q., Li, J., y Kim, K.-H. (2023). Advances in desalination technology and its environmental and economic assessment. *Journal of Cleaner Production*, 397, 136498. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136498>
- Comisión Nacional del Agua. (2024). Acuerdo por el que se dan a conocer las zonas de disponibilidad que corresponden a las cuencas y acuíferos del país para el ejercicio fiscal 2024. Diario Oficial de la Federación.
- Fondo Nacional de Infraestructura. (2021). Planta desaladora en Ensenada, Baja California. Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos. <https://www.fonadin.gob.mx/fni2/fp14/>
- Global Infrastructure Hub. (2020). PPP risk allocation tool 2019 edition. <https://ppp-risk.gihub.org/>
- Gobierno del Estado de Baja California. (2023). Programa Estatal Hídrico 2022-2027. Periódico Oficial del Estado de Baja California. https://www.bajacalifornia.gob.mx/Documentos/coplade/planeacion/programas-estatales/Programa_Estatal_Hidrico-POE.pdf

- Gupta, P., Arciniegas-Pérez, M. D., y Barrios-Piña, H. A. (2025). Impact of brine discharge from desalination plants on marine ecosystems: A review. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 100693. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2025.100693>
- Lima, S., Brochado, A., y Marques, R. C. (2021). Public-private partnerships in the water sector: A review. *Utilities Policy*, 69, 101182. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2021.101182>
- Ma, L., Hu, Y., Zhu, L., y Ke, Y. (2023). Are public-private partnerships still an answer for social infrastructure? A systematic literature review. *Frontiers of Engineering Management*, 10, 467-482. <https://doi.org/10.1007/s42524-023-0249-1>
- Ogunbiyi, O., Saththasivam, J., Al-Masri, D., Manawi, Y., Lawler, J., Zhang, X., y Liu, Z. (2021). Sustainable brine management from the perspectives of water, energy and mineral recovery: A comprehensive review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105429. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105429>
- Panagopoulos, A., y Haralambous, K.-J. (2020). Environmental impacts of desalination and brine treatment: Challenges and mitigation measures. *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111773. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111773>
- Shokri, A., y Sanavi Fard, M. (2022). A sustainable approach in water desalination with the integration of renewable energy sources: Environmental engineering challenges and perspectives. *Environmental Advances*, 9, 100281. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100281>
- Soni, S., Jindal, M. K., Tewari, P. K., y Anand, V. (2025). Potential and challenges of desalination technologies for arid and semiarid regions: A comprehensive review. *Desalination*, 600, 118458. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2024.118458>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2024). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2024: Agua para la prosperidad y la paz. UNESCO.