JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

DIGELAG OF 299/2026
DIRECCIÓN GENERAL DE ESTUDIOS LEGISLATIVOS Y ACUERDOS GUBERNAMENTALES

H. CONGRESO DEL ESTADO DE JALISCO
PRESENTE.

Asunto: Plan Estratégico

Con fundamento en el artículo 17 numeral 1 fracción I de la Ley Orgánica del Poder Ejecutivo del Estado de Jalisco, por medio del presente me permito remitir a esa Asamblea, copia simple del diverso **CGEGT/203/2026**, suscrito por la Coordinadora General Estratégica de Gestión del Territorio, así como de sus anexos, consistentes en el **Plan Estratégico de Gestión Integral del Agua para el Área Metropolitana de Guadalajara**, que contienen los elementos técnicos, estratégicos y ejecutivos para la atención de los principales retos en materia de seguridad hídrica.

Reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"2026, Jalisco, Cuna de Identidad Nacional y el Mundial que nos Une"
GUADALAJARA, JALISCO, A 14 DE JULIO DE 2026

SALVADOR ZAMORA ZAMORA
SECRETARIO GENERAL DE GOBIERNO

JTC

INFOLEJ
2991 - LXIV
PODER LEGISLATIVO DEL ESTADO
COORDINACIÓN DE PROCESOS LEGISLATIVOS
RECIBIDO
14 JUL 2026
HORA 18:40
6349

380446
14 JUL 2026
1:50pm

Secretaría General de Gobierno
GOBIERNO DE JALISCO

Coordinación de Gestión del Territorio
GOBIERNO DE JALISCO

ACUSE

Guadalajara, Jalisco a 14 de julio de 2026
Oficio No. CGEGT/203/2026
Asunto: Remisión del Plan Estratégico de Gestión Integral del Agua.

ING. SALVADOR ZAMORA ZAMORA
SECRETARIO GENERAL DE GOBIERNO
PRESENTE

Reciba un cordial saludo y a través del presente, me permito remitir el Plan Estratégico de Gestión Integral del Agua para el Área Metropolitana de Guadalajara, así como los anexos que lo integran, que contienen elementos técnicos, estratégicos y ejecutivos para la atención de los principales retos en materia de seguridad hídrica.

En este sentido, se remiten los siguientes documentos en 4 carpetas:

Carpeta marcada con el número 1:

1 Bases Técnicas para la Priorización de las Intervenciones Estratégicas para la seguridad hídrica del Área Metropolitana de Guadalajara.
2 Resumen ejecutivo Bases Técnicas para la Priorización de las Intervenciones Estratégicas para la seguridad hídrica del Área Metropolitana de Guadalajara.

ANEXOS

1 AYESA México. (2012). Estudio de alternativas del Acueducto Chapala–Guadalajara: Evaluación técnico-económica [Informe técnico elaborado para el Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado].
2 Colegio de Ingenieros Civiles del Estado de Jalisco, A. C. (2023). Modelo de Gestión Hídrica para Jalisco [Documento técnico institucional].
3 Colegio de Ingenieros Civiles del Estado de Jalisco, A. C. (2023–2024). Memorias técnicas de las once mesas de trabajo para la construcción del Modelo de Gestión Hídrica para Jalisco [Documentación técnica institucional no publicada].
4 Colegio de Ingenieros Civiles del Estado de Jalisco, A. C. (2026). Jornadas de Gestión Hídrica Metropolitana: Memoria técnica, conclusiones y acuerdos [Documento técnico institucional no publicado].
5 Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (2010). Diagnóstico integral del sistema de agua potable del Área Metropolitana de Guadalajara [Informe técnico institucional].

Secretaría General de Gobierno
GOBIERNO DE JALISCO
12:00

14 JUL. 2026
RECIBIDO
DIRECCIÓN GENERAL DE ESTUDIOS LEGISLATIVOS Y ACUERDOS GUBERNAMENTALES

JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

Calle José Guadalupe Zuno Hernández 2302-piso 3, Col. Americana,
Guadalajara, Jalisco. C.P. 44160
3336 681871

6 Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (2011). Campaña de mediciones hidráulicas del Acueducto Chapala–Guadalajara [Documento técnico interno].

Carpeta marcada con el número 2:

7 Secretaría de Gestión Integral del Agua, Comisión Estatal del Agua de Jalisco, y Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (2026a). Proyecto ejecutivo del Acueducto Sustituto Chapala–Guadalajara [Documentación técnica institucional]. VERSIÓN PÚBLICA

Carpeta marcada con el número 3:

8 Secretaría de Gestión Integral del Agua, Comisión Estatal del Agua de Jalisco, y Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (2026b). Proyecto de reconversión de la Planta Potabilizadora No. 1 Miravalle [Documentación técnica institucional].

9 Secretaría de Gestión Integral del Agua, Comisión Estatal del Agua de Jalisco, y Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (2026c). Evaluación institucional sobre seguridad y eficiencia energética, hídrica y financiera del SIAPA [Documento técnico de trabajo]. VERSIÓN PÚBLICA

10 Secretaría de Gestión Integral del Agua, Comisión Estatal del Agua de Jalisco, y Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (2026d). Estudios y proyectos para el fortalecimiento del saneamiento del nororiente del Área Metropolitana de Guadalajara [Documentación técnica institucional].

11 Secretaría de Gestión Integral del Agua, Comisión Estatal del Agua de Jalisco, y Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (2026e). Información técnica sobre fuentes, conducción, plantas potabilizadoras, tanques, redes, saneamiento e infraestructura pluvial del Área Metropolitana de Guadalajara [Bases de datos y documentación institucional].

Carpeta marcada con el número 4:

3 Plan Estratégico de Gestión Integral del Agua para el Área Metropolitana de Guadalajara.

ANEXOS

1 Ampliación PP5 Etapa 1
2 Tanque de retrolavado y grúa de izaje en PP1 Miravalle
3 Sistema La Calera - PP5 Etapa 1
4 Proyecto ejecutivo acueducto sustituto
5 Limpieza de tanques y redes de distribución
6 Sustitución de medios filtrantes en PP1 Miravalle
7 Construcción de infraestructura de reforzamiento para distribución
8 Trabajos de conservación del sistema antiguo de abasto del AMG 2025 - 2026
9 Sistema La Calera - PP5 Etapa 2
10 Reconversión PP1 Miravalle Etapa 1 Primer tren de potabilización
11 Acueducto Sustituto Chapala - Guadalajara
12 Reconversión PP1 Miravalle Etapa 2
13 Modernización y ampliación PP3 San Gaspar
14 Ampliación PP5 Etapa 2
15 Rehabilitación de pozos y reequipamiento
16 Plan de eficiencia energética para la sustitución y renovación de equipos de bombeo Etapa 1
17 Plan de eficiencia energética para la sustitución y renovación de equipos de bombeo Etapa 2
18 Acueducto Presa Calderón - PP3
19 Construcción de colector Villa Fontana
20 Colectores para el saneamiento de la cuenca de El Ahogado en El Salto
21 Eficiencia energética en planta de tratamiento
22 Modernización PTAR Agua Prieta
23 PTAR´s Cuenca Río Blanco
24 PTAR Oriente AMG
25 PTAR El Vado
26 PTAR Coyula
27 Mantenimiento de los sistemas de regulación de pluvial de la ciudad
28 Plan Preventivo Anual SIAPA
29 Estudios de manejo pluvial de la AMG (IMTA)
30 Proyecto de recarga de acuíferos y control pluvial

Calle José Guadalupe Zuno Hernández 2302-piso 3, Col. Americana,
Guadalajara, Jalisco. C.P. 44160
3336 681871

31 Atención a socavones y reparación de colectores
32 Plan maestro de regulación de escurrimientos pluviales cuenca alta Arroyo Hondo, Zapopan

Los anexos del presente oficio contienen información que, de conformidad al artículo 112, fracciones VIII y XIII de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública y demás disposiciones legales aplicables, son susceptibles de clasificarse como información reservada, al contener estudios, cantidades, proyectos ejecutivos, recomendaciones y análisis que pudieran formar parte de un futuro proceso licitatorio, así como comprometer la seguridad en la ejecución de las distintas obras de infraestructura hídrica, cuya divulgación previa podría incidir negativamente el desarrollo de dichos procesos.

Sin otro particular, agradezco de antemano su atención y quedo a sus órdenes para cualquier información adicional que se requiera.

A t e n t a m e n t e
Guadalajara, Jalisco, a 14 de julio de 2026
"2026, Jalisco Cuna de Identidad Nacional y el Mundial que nos Une"

Mtra. Karina Anaid Hermosillo Ramírez
Coordinadora General Estratégica de Gestión del Territorio
(Firma 203)

Calle José Guadalupe Zuno Hernández 2302-piso 3, Col. Americana,
Guadalajara, Jalisco. C.P. 44160
3336 681871

BASES TÉCNICAS

para la Priorización de las Intervenciones Estratégicas para la seguridad hídrica del Área Metropolitana de Guadalajara

Documento técnico para la integración de evidencia, el diagnóstico sistémico y la orientación de decisiones en materia de seguridad hídrica del Área Metropolitana de Guadalajara.

SIAPA | Comisión Estatal del Agua Jalisco | Gestión Integral del Agua | Infraestructura y Obra Pública | Coordinación de Gestión del Territorio | JALISCO GOBIERNO DEL ESTADO

ÍNDICE

PRESENTACIÓN 6

INTRODUCCIÓN 11

CAPÍTULO I. ¿CÓMO EVOLUCIONÓ EL SISTEMA HIDRÁULICO DEL SISTEMA HÍDRICO DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA Y QUÉ IMPLICACIONES TIENE ESTA EVOLUCIÓN PARA SU GESTIÓN FUTURA? 15

1.1 Evolución del sistema hidráulico metropolitano como fundamento para la toma de decisiones. 16

1.2 La evolución de la ciudad y la transformación de las condiciones del sistema 19

1.3 Evolución de la infraestructura y el incremento de la complejidad operativa 22

1.4 El efecto acumulativo del desfase entre la evolución de las exigencias y la actualización de las capacidades del sistema. 25

1.5 La evolución de las exigencias sobre el sistema hidráulico metropolitano 29

1.6 La distribución de competencias y la corresponsabilidad en la gestión del sistema hídrico metropolitano 32

CAPÍTULO II. CONSTRUCCIÓN COLECTIVA DEL CONOCIMIENTO COMO FUNDAMENTO PARA LA FORMULACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN ESTRATÉGICA 35

2.1 Evolución del proceso de construcción técnica y colectiva del conocimiento 36

2.2 Aportaciones de los distintos ámbitos a la construcción de una base técnica común 40

2.3 Consolidación de una base técnica común para la formulación de los instrumentos de planeación estratégica. 43

CAPÍTULO III. Diagnóstico técnico y sistémico del sistema hídrico del área metropolitana de Guadalajara 49

3.1 Confiabilidad y configuración general del sistema de abastecimiento 56

3.1.1 Principales factores que condicionan la confiabilidad del sistema de abastecimiento 59

3.1.2 Configuración general del sistema de abastecimiento 65

3.1.3 Identificación de componentes de especial relevancia funcional para la continuidad del abastecimiento 70

3.2 Evaluación técnica de la infraestructura de regulación, almacenamiento y distribución de agua potable 76

3.2.1 Alcance y dimensiones de la evaluación 78

3.2.2 Criterios para determinar necesidades de mantenimiento, rehabilitación, modernización, renovación o sustitución 94

3.3 Evaluación técnica del sistema de conducción Chapala–Guadalajara 103

3.3.1 Evolución técnica y antecedentes documentales del sistema de conducción Chapala–Guadalajara 106

3.3.2 Integración y valoración de la evidencia técnica disponible 113

3.3.3 Evaluación integrada de las condiciones documentadas de operación 122

3.3.4 Restricciones, riesgos y vacíos de información del sistema de conducción 127

3.4 Evaluación técnica del sistema metropolitano de producción de agua potable 132

3.4.1 Evolución del sistema metropolitano de producción de agua potable 135

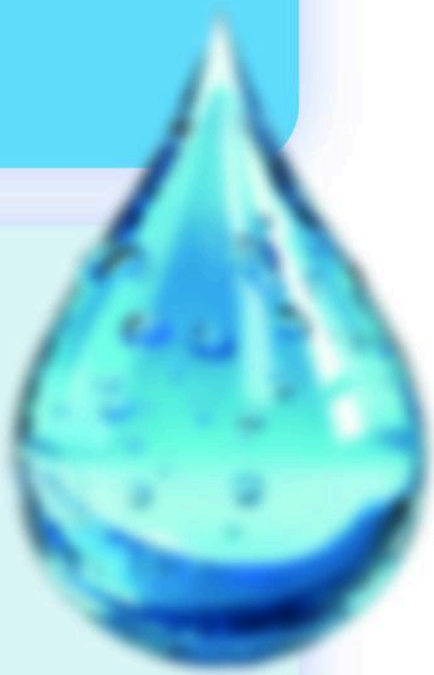
3.4.2 Variabilidad del agua cruda y capacidad de adaptación de los procesos de potabilización 139

3.4.3 Concentración y distribución territorial de la capacidad de producción 146
3.5 Evaluación técnica del sistema de abastecimiento complementario 168
3.5.1 Evolución y función del abastecimiento complementario 170
3.5.2 Evaluación de las fuentes superficiales complementarias 176
3.5.3 Evaluación de las fuentes subterráneas y de la infraestructura de pozos profundos 184
3.5.4 Integración operativa, diversificación y capacidad de maniobra 191
3.5.5 Restricciones y vacíos de información 197
3.6 Evaluación técnica del sistema de alcantarillado sanitario y saneamiento 203
3.6.1 Evolución del sistema metropolitano de alcantarillado y saneamiento 207
3.6.2 Condición, antigüedad y desempeño de las redes de alcantarillado y conducción sanitaria 212
3.6.3 Capacidad, desempeño y distribución territorial del tratamiento 219
3.6.4 Interacciones entre los sistemas sanitario y pluvial 229
3.6.5 Agua tratada, recuperación de recursos y economía circular 237
3.6.6 Restricciones y capacidades que requieren fortalecimiento 245
3.7 Evaluación técnica de la gestión integral del agua pluvial y del riesgo de inundaciones 253
3.7.1 Evolución del sistema y del enfoque de gestión pluvial 255
3.7.2 Transformación hidrológica del territorio metropolitano 261
3.7.3 Condición, operación, mantenimiento, renovación y desarrollo de la infraestructura pluvial 270
3.7.4 Modelación, monitoreo hidrometeorológico y sistemas de alerta 281
3.7.5 Gestión por cuencas, regulación, infiltración y soluciones basadas en la naturaleza 291
3.7.6 Restricciones y capacidades que requieren fortalecimiento 300
3.8 Evaluación transversal de la eficiencia operativa, energética y digital 308
3.8.1 Enfoque sistémico, medición y balances operativos 310
3.8.2 Eficiencia hidráulica, control de pérdidas y sectorización operativa 319
3.8.3 Eficiencia energética, automatización y gestión digital 332
3.9 Capacidades institucionales, investigación y gestión del conocimiento 343
3.10 Integración del diagnóstico 350
CAPÍTULO IV. RESTRICCIONES ESTRUCTURALES Y CAPACIDADES POR FORTALECER 357
4.1 Propósito y alcance 357
4.2 Restricciones estructurales del sistema hídrico metropolitano 358
4.3 Matriz estratégica de restricciones y capacidades 361
4.4 Capacidades estructurales por fortalecer 361
4.5 Relación entre capacidades y conceptos de actuación 363
4.6 Criterios para orientar la formulación de alternativas 364
4.7 Implicación para la planeación 365
CAPÍTULO V. METODOLOGÍA PARA LA FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS 368
5.1 Propósito y alcance 368
5.2 Construcción técnica y participativa de las bases y formulación de alternativas 368

5.3 Fuentes para la formulación de alternativas 370
5.4 Proceso de formulación 371
5.5 Evaluación comparada 372
5.6 Valoración de estudios y proyectos existentes 373
5.7 Participación en la valoración de alternativas 374
5.8 De las alternativas a las líneas estratégicas de actuación 374
5.9 Productos de la evaluación 375
5.10 Implicación para la continuidad de la planeación 376
CAPÍTULO VI. CONTINUIDAD TÉCNICA, ACTUALIZACIÓN Y RUTA DE IMPLEMENTACIÓN 378
6.1 Propósito y alcance 378
6.2 Principios para la continuidad de la planeación 378
6.3 Mecanismos de coordinación, participación y continuidad 381
6.4 Seguimiento y actualización 382
6.5 Indicadores para la continuidad de la planeación 383
6.6 Agenda estratégica de continuidad 384
6.7 Implicación para la toma de decisiones 385
***CONCLUSIONES GENERALES* 386**
***REFERENCIAS* 391**
I. GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS Y CONCEPTUALES 398
II. Siglas, acrónimos y abreviaturas 415
III. Unidades y símbolos de uso frecuente 417
Anexo A. Evolución de los estudios técnicos que sustentan la estrategia hídrica del Área Metropolitana de Guadalajara 418

BASES TÉCNICAS

PARA LA PRIORIZACIÓN
DE LAS INTERVENCIONES ESTRATÉGICAS
PARA LA SEGURIDAD HÍDRICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJAR



PRESENTACIÓN

JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

PRESENTACIÓN

La seguridad hídrica constituye uno de los principales retos para el desarrollo sostenible de las ciudades. Garantizar el acceso suficiente, continuo y de agua de calidad para la población, proteger los ecosistemas, fortalecer la resiliencia frente a fenómenos hidrometeorológicos y asegurar la sostenibilidad de los servicios relacionados con el agua exige una visión integral que articule el abastecimiento, el saneamiento, la gestión del riesgo, la protección ambiental, la eficiencia operativa y la coordinación institucional, y que trascienda las respuestas aisladas o exclusivamente sectoriales (UN-Water, 2013; UNESCO, 2024).

En este contexto, la calidad de la toma de decisiones públicas adquiere un papel determinante. Los sistemas hídricos metropolitanos son dinámicos y sus condiciones de funcionamiento se modifican como consecuencia del crecimiento urbano, los cambios en la demanda, la variabilidad climática, el envejecimiento de la infraestructura, la evolución del marco normativo y la transformación de las condiciones ambientales, sociales y económicas del territorio. Esta evolución exige que las decisiones de planeación y gestión no respondan únicamente a problemáticas inmediatas, sino que se sustenten en procesos rigurosos de diagnóstico, análisis de riesgos, evaluación de escenarios y definición de criterios técnicos que permitan atender las causas estructurales que limitan el desempeño del sistema (ISO 55000:2014; OECD, 2015).

El Área Metropolitana de Guadalajara refleja con claridad esta realidad. Las condiciones que actualmente enfrenta su sistema hídrico no son consecuencia de un solo evento ni pueden atribuirse exclusivamente a decisiones recientes. Son el resultado de un proceso acumulativo en el que convergen el crecimiento sostenido de la ciudad, la mayor presión operativa y ambiental sobre las fuentes de abastecimiento, el envejecimiento de activos estratégicos, la evolución de los estándares de calidad del agua, la transformación del territorio y el desfase entre

las nuevas exigencias del sistema y el ritmo de actualización de algunos de sus componentes.

Durante este proceso, las instituciones responsables desarrollaron múltiples acciones de operación, mantenimiento, rehabilitación y atención de contingencias que permitieron preservar la continuidad de los servicios y prolongar la vida útil de la infraestructura existente. No obstante, la evolución de las condiciones metropolitanas puso de manifiesto la necesidad de integrar dichos esfuerzos dentro de un marco de planeación de largo plazo que considere, de manera coordinada, la gestión de activos, la eficiencia operativa, la confiabilidad del sistema, la generación y utilización de información, la gestión del riesgo, el ordenamiento territorial, la protección de los ecosistemas y el fortalecimiento institucional.

Bajo esta visión, el Gobierno del Estado de Jalisco, por medio de la Secretaría de Gestión Integral del Agua y con la participación de la Comisión Estatal del Agua y el Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado, impulsó un proceso de análisis integral orientado a caracterizar el funcionamiento del sistema hídrico metropolitano, integrar la evidencia técnica disponible, identificar las restricciones estructurales que condicionan su desempeño y determinar las capacidades que requieren fortalecerse. El propósito de este proceso fue integrar la evidencia técnica disponible para construir una base común de conocimiento sobre la problemática hídrica del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG), identificar las restricciones estructurales que condicionan el desempeño del sistema y establecer criterios técnicos que orienten la evaluación de alternativas y los procesos de planeación estratégica encaminados al fortalecimiento de la seguridad hídrica.

El presente documento reúne las Bases Técnicas derivadas de dicho proceso. Su finalidad consiste en organizar e interpretar el conocimiento disponible, establecer la relación entre las condiciones observadas, las restricciones identificadas y las capacidades que requiere el sistema, así como proporcionar

un marco metodológico común para orientar la formulación de los instrumentos de planeación estratégica.

En consecuencia, estas Bases Técnicas no constituyen los instrumentos de planeación estratégica, ni determinan de manera anticipada las soluciones específicas que deberán adoptarse. Tampoco representan, por sí mismas, decisiones de programación, financiamiento, autorización o ejecución. Estas determinaciones corresponderán a etapas posteriores de planeación, en las que deberán evaluarse las distintas alternativas conforme a su factibilidad técnica, económica, financiera, ambiental, social, jurídica e institucional.

El conocimiento acumulado durante décadas de estudios, diagnósticos, investigaciones, campañas de medición, experiencias operativas y procesos de construcción colectiva fue integrado en este documento con el propósito de construir una base técnica común para la toma de decisiones. Su aportación principal consiste en hacer explícita la relación entre la evidencia disponible, las restricciones estructurales del sistema, los riesgos asociados a su permanencia y las capacidades que deberán considerarse durante la formulación de una estrategia integral para la seguridad hídrica del Área Metropolitana de Guadalajara.

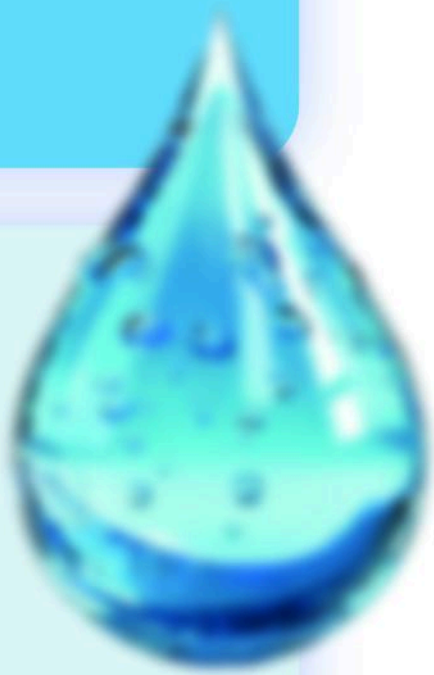
De esta manera, las Bases Técnicas constituyen una herramienta previa y preparatoria para la planeación institucional. Su función es reducir la incertidumbre, fortalecer la trazabilidad de las decisiones y contribuir a que los instrumentos de planeación estratégica se formulen desde una perspectiva sistémica, con visión de largo plazo y con criterios que permitan evaluar de manera transparente las distintas alternativas de actuación.

La seguridad hídrica no se construye mediante decisiones aisladas ni mediante respuestas de corto plazo. Es el resultado de un proceso continuo de conocimiento, planeación, coordinación, evaluación y adaptación institucional. Bajo este principio se desarrollan las presentes Bases Técnicas, con el propósito

de aportar un fundamento sólido para la formulación de los instrumentos de planeación estratégica y contribuir a que las decisiones futuras respondan, con responsabilidad pública y visión de largo plazo, a los desafíos presentes y futuros del agua en el Área Metropolitana de Guadalajara.

BASES TÉCNICAS

PARA LA PRIORIZACIÓN
DE LAS INTERVENCIONES ESTRATÉGICAS
PARA LA SEGURIDAD HÍDRICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJAR



INTRODUCCIÓN

JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

INTRODUCCIÓN

La formulación de un Plan de Acción orientado al fortalecimiento de la seguridad hídrica exige reconocer que los desafíos de los sistemas hídricos metropolitanos no responden a una sola causa ni pueden atenderse mediante decisiones aisladas. Su funcionamiento depende de la interacción continua entre las fuentes de abastecimiento, la infraestructura, el territorio, los ecosistemas, los procesos operativos, la información disponible, las capacidades institucionales y las condiciones financieras bajo las cuales se prestan los servicios relacionados con el agua.

Por esta razón, la toma de decisiones debe partir de un análisis integral que permita identificar no solamente las manifestaciones visibles de los problemas, sino también las causas estructurales que los originan, las interdependencias existentes entre los distintos componentes del sistema, los riesgos asociados a su permanencia y las capacidades que requieren fortalecerse para responder a las condiciones presentes y futuras del Área Metropolitana de Guadalajara.

Bajo este enfoque, las presentes Bases Técnicas organizan y analizan el conocimiento disponible sobre el sistema hídrico metropolitano. Su propósito consiste en reconstruir su evolución, integrar la evidencia generada mediante estudios, diagnósticos, campañas de medición, experiencias operativas y procesos de construcción colectiva, así como identificar las restricciones que actualmente condicionan su desempeño.

La metodología desarrollada establece una secuencia de análisis que vincula la evidencia técnica disponible con las restricciones identificadas, los riesgos asociados y las capacidades que deberá considerar la formulación del Plan de Acción. Esta relación busca fortalecer la trazabilidad de las decisiones y evitar que las futuras líneas de actuación sean definidas a partir de problemáticas aisladas, circunstancias coyunturales o soluciones determinadas de manera anticipada.

El presente documento constituye el fundamento técnico para la formulación de un plan de acción que contribuya a la atención de la problemática identificada. Su función consiste en integrar la evidencia disponible, identificar las restricciones estructurales del sistema, determinar las capacidades que requieren fortalecerse y establecer criterios para la posterior evaluación y priorización de alternativas. Por su naturaleza, estas Bases Técnicas no implican, por sí mismas, la autorización, programación, financiamiento o ejecución de acciones específicas. Estas determinaciones corresponderán a las etapas posteriores de planeación y deberán sustentarse en los estudios y procedimientos aplicables.

Cuando estas Bases Técnicas hacen referencia a estudios, proyectos, ingenierías o propuestas previamente desarrolladas, lo hacen como antecedentes documentales y fuentes de evidencia para comprender la evolución del sistema y las alternativas que han sido analizadas en distintos momentos. Su inclusión no implica su adopción automática, su autorización ni la determinación anticipada de una solución específica dentro de los futuros instrumentos de planeación estratégica.

A lo largo del documento se adopta una perspectiva sistémica para analizar la confiabilidad del abastecimiento, la calidad del agua, la capacidad de producción, la diversificación de fuentes, el saneamiento, la gestión del agua pluvial, la eficiencia operativa, la eficiencia energética, la resiliencia territorial y las capacidades institucionales necesarias para gestionar escenarios de creciente complejidad.

Desde esta perspectiva, el principal resultado de las Bases Técnicas no consiste en definir anticipadamente qué debe ejecutarse, sino en proporcionar un marco común para comprender el sistema, comparar alternativas y orientar decisiones públicas sustentadas en información verificable, criterios explícitos y una visión integral de largo plazo.

En consecuencia, estas Bases Técnicas constituyen el fundamento metodológico para la formulación de los instrumentos de planeación estratégica. Su aportación consiste en reducir la incertidumbre, fortalecer la transparencia y trazabilidad del proceso de planeación, y asegurar que las decisiones futuras respondan a las restricciones estructurales del sistema y a las capacidades que deben desarrollarse para avanzar hacia condiciones sostenibles de seguridad hídrica en el Área Metropolitana de Guadalajara.

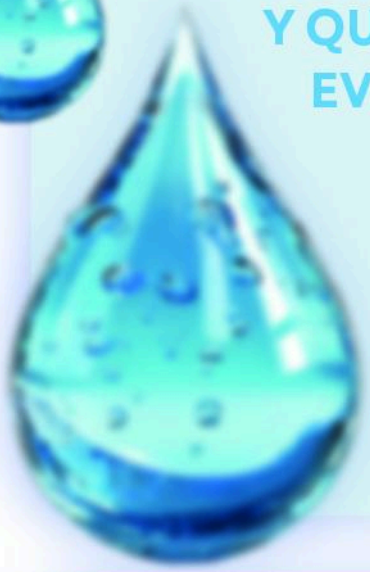
BASES TÉCNICAS

PARA LA PRIORIZACIÓN
DE LAS INTERVENCIONES ESTRATÉGICAS
PARA LA SEGURIDAD HÍDRICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJAR

CAPÍTULO I

¿CÓMO EVOLUCIONÓ EL SISTEMA HIDRÁULICO DEL SISTEMA HÍDRICO DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

Y QUÉ IMPLICACIONES TIENE ESTA EVOLUCIÓN PARA SU GESTIÓN FUTURA?



JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

CAPÍTULO I

¿CÓMO EVOLUCIONÓ EL SISTEMA HIDRÁULICO DEL SISTEMA HÍDRICO DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA Y QUÉ IMPLICACIONES TIENE ESTA EVOLUCIÓN PARA SU GESTIÓN FUTURA?

El funcionamiento actual del sistema hídrico del Área Metropolitana de Guadalajara sólo puede comprenderse a partir de su evolución histórica. La infraestructura, las fuentes de abastecimiento, los procesos de potabilización y saneamiento, las condiciones territoriales y las capacidades institucionales se desarrollaron de manera progresiva para responder al crecimiento de la población, la expansión urbana y las necesidades propias de cada etapa de la metrópoli.

A lo largo de este proceso también se modificaron las condiciones bajo las cuales debe gestionarse el agua. El incremento de la demanda, la transformación de las fuentes de abastecimiento, la evolución de los estándares de calidad, el envejecimiento de los activos, la mayor interdependencia entre los componentes del sistema y la incorporación de nuevos requerimientos ambientales, energéticos y sociales aumentaron progresivamente la complejidad de su operación.

El propósito de este capítulo es reconstruir esa evolución para identificar los procesos estructurales que explican la condición actual del sistema. El análisis no busca atribuir las restricciones existentes a una decisión, institución o periodo administrativo en particular, ni anticipar la selección de soluciones específicas. Su función consiste en establecer el contexto histórico y funcional que deberá considerar para la toma de decisiones para una adecuada Gestión Integral del Agua para el Área Metropolitana de Guadalajara.

Para ello, el capítulo examina la relación entre el crecimiento de la ciudad y la transformación de las condiciones del sistema; la expansión de la infraestructura

y el incremento de la complejidad operativa; la acumulación de necesidades de conservación, rehabilitación y modernización; y la evolución de las exigencias técnicas, normativas, ambientales y sociales asociadas a la prestación de los servicios relacionados con el agua.

Esta revisión permite distinguir las manifestaciones inmediatas de los problemas de los procesos estructurales que se han desarrollado durante varias décadas. Sobre esta base será posible, en los capítulos posteriores, identificar las restricciones que condicionan el desempeño del sistema, determinar las capacidades que requieren fortalecerse y establecer criterios para la evaluación de alternativas durante la formulación de estrategias.

1.1 Evolución del sistema hidráulico metropolitano como fundamento para la toma de decisiones.

Los sistemas hídricos metropolitanos evolucionan junto con las ciudades a las que sirven. Cuando las condiciones del territorio, la población y la demanda se transforman, también deben evolucionar las capacidades técnicas, operativas e institucionales necesarias para gestionarlos.

Todo sistema hídrico metropolitano se encuentra en transformación permanente. Su comportamiento no depende únicamente de la infraestructura física que lo integra, sino de la interacción continua entre el crecimiento poblacional, la expansión urbana, la disponibilidad y calidad de las fuentes de abastecimiento, la demanda de agua, las condiciones ambientales, el desarrollo tecnológico, el marco regulatorio y las capacidades institucionales de planeación, operación, mantenimiento y gestión.

Por esta razón, comprender la condición actual del sistema hídrico del Área Metropolitana de Guadalajara exige analizar su evolución desde una perspectiva integral. Las restricciones que actualmente condicionan su desempeño no pueden explicarse de manera aislada ni atribuirse a un solo factor. Son el

resultado de un proceso acumulativo en el que distintos elementos han interactuado durante varias décadas, modificando progresivamente las condiciones bajo las cuales se prestan los servicios relacionados con el agua.

El crecimiento sostenido de la metrópoli incrementó la demanda y amplió la cobertura territorial de los servicios. Para responder a estas transformaciones, el sistema incorporó nuevas fuentes de abastecimiento, infraestructura de conducción, instalaciones de potabilización, estaciones de bombeo, redes de distribución, sistemas de saneamiento y obras para la gestión del agua pluvial.

Este desarrollo permitió acompañar la expansión de la ciudad y mantener la prestación de los servicios; sin embargo, también aumentó la interdependencia entre los distintos componentes del sistema. Conforme se incorporaron nuevas fuentes, instalaciones y procesos, el desempeño de cada elemento comenzó a depender en mayor medida del funcionamiento coordinado del conjunto.

En estas condiciones, una restricción localizada puede producir efectos sobre diferentes etapas del ciclo urbano del agua. Una limitación en la conducción puede afectar la producción; una variación en las características del agua cruda puede modificar los requerimientos de potabilización; una falla electromecánica puede reducir la continuidad del servicio; y una insuficiente articulación entre recolección y tratamiento puede limitar el desempeño del sistema de saneamiento.

La complejidad operativa dejó de depender únicamente del número o antigüedad de las instalaciones. Comenzó a estar determinada también por la capacidad para coordinar fuentes, infraestructura, procesos, información y decisiones institucionales dentro de un sistema altamente interconectado.

Paralelamente, evolucionaron las exigencias técnicas, normativas, ambientales y sociales asociadas a la gestión del agua. Actualmente no basta con disponer de infraestructura capaz de suministrar o tratar determinados volúmenes. El

sistema debe responder también a requerimientos de calidad, continuidad, eficiencia energética, protección ambiental, gestión del riesgo, resiliencia, sostenibilidad financiera, transparencia y adaptación frente a escenarios de mayor incertidumbre.

Cuando el ritmo de actualización, conservación, rehabilitación y modernización de los distintos componentes no acompaña plenamente la evolución de estas exigencias, se genera una presión acumulativa sobre el sistema. Esta condición no implica la ausencia de acciones institucionales. Durante este proceso, las autoridades y organismos responsables continúan desarrollando actividades permanentes de operación, mantenimiento, rehabilitación y atención de contingencias para preservar la continuidad de los servicios.

No obstante, conforme aumentan la demanda, la interdependencia y la complejidad operativa, estas acciones deben integrarse dentro de una planeación de largo plazo que permita anticipar riesgos, conservar márgenes adecuados de maniobra y orientar la evolución del sistema en función de sus necesidades estructurales.

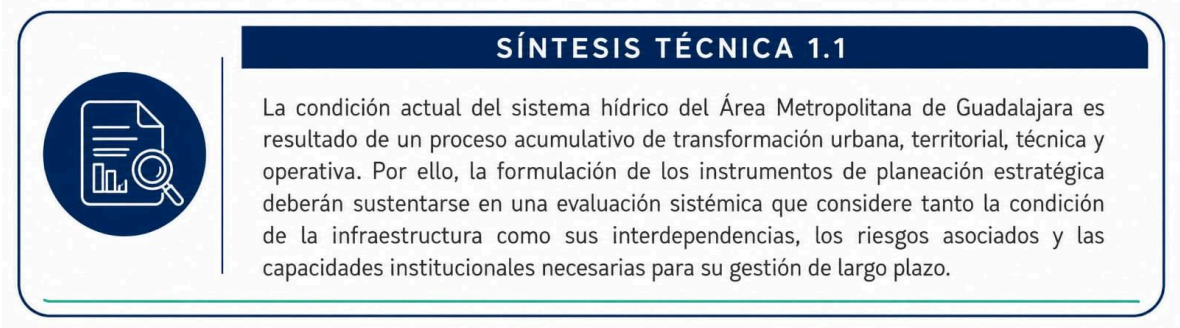
Comprender este proceso es indispensable para la toma de decisiones con visión de largo plazo. La revisión histórica no determina de manera anticipada qué acciones deberán ejecutarse; proporciona el contexto necesario para identificar las restricciones actuales, analizar sus causas, reconocer las capacidades que deben fortalecerse y establecer criterios para evaluar posteriormente las alternativas de actuación.

En consecuencia, la evolución del sistema hídrico metropolitano constituye el punto de partida para construir una planeación basada en evidencia. Permite comprender que la condición actual no responde a un solo evento, sino a la interacción acumulativa entre la transformación de la ciudad, el incremento de las exigencias sobre los servicios, el envejecimiento de los activos, la creciente

interdependencia de la infraestructura y la evolución de las capacidades necesarias para gestionarla.

SÍNTESIS TÉCNICA 1.1

La condición actual del sistema hídrico del Área Metropolitana de Guadalajara es resultado de un proceso acumulativo de transformación urbana, territorial, técnica y operativa. Por ello, la formulación de los instrumentos de planeación estratégica deberán sustentarse en una evaluación sistémica que considere tanto la condición de la infraestructura como sus interdependencias, los riesgos asociados y las capacidades institucionales necesarias para su gestión de largo plazo.



1.2 La evolución de la ciudad y la transformación de las condiciones del sistema

El desarrollo del sistema hídrico del Área Metropolitana de Guadalajara ha estado estrechamente ligado a la evolución de la ciudad. Desde su origen, cada etapa de crecimiento urbano ha implicado nuevas exigencias para la infraestructura y para las capacidades institucionales encargadas de garantizar el abastecimiento de agua potable, el saneamiento y la gestión de los riesgos asociados al agua.

En sus primeras etapas, Guadalajara presentaba una configuración urbana más compacta, con una población considerablemente menor y una demanda de agua acorde con las condiciones para las cuales fue concebida la infraestructura disponible en ese momento. Bajo ese contexto, las obras y sistemas existentes respondían de manera funcional a las necesidades de abastecimiento, conducción, distribución y saneamiento de la ciudad.

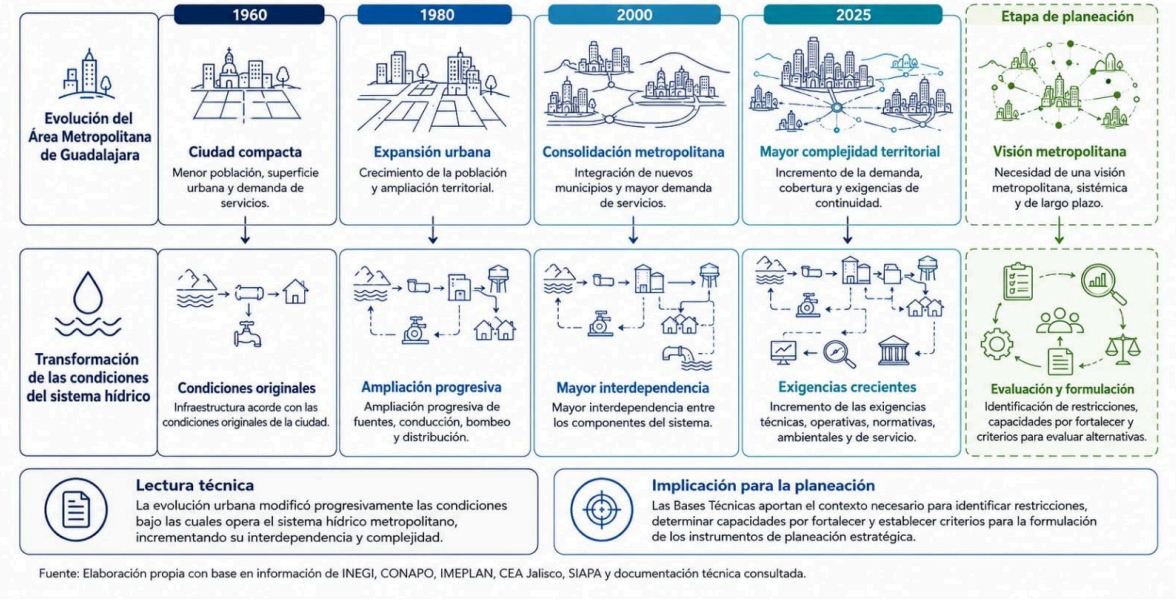
Sin embargo, el crecimiento demográfico sostenido, la expansión territorial y la integración progresiva de nuevos municipios metropolitanos transformaron de manera significativa las condiciones originales del sistema. El incremento de la población, la diversificación de las actividades económicas, la ampliación de la cobertura de los servicios y la incorporación de nuevas áreas urbanas generaron una demanda creciente de agua y elevaron progresivamente la complejidad operativa del sistema hídrico metropolitano.

Como resultado de esta evolución, el sistema dejó de operar bajo las mismas condiciones para las cuales fue originalmente concebido. Las mayores distancias de conducción, el incremento en los volúmenes demandados, la necesidad de mantener mayores niveles de continuidad en el servicio, la evolución de los estándares de calidad del agua y el fortalecimiento del marco normativo incrementaron las exigencias técnicas, operativas y de gestión sobre los activos estratégicos del sistema.

Esta condición no constituye una circunstancia extraordinaria; por el contrario, corresponde a un comportamiento esperado en los sistemas hídricos de grandes áreas metropolitanas. Conforme las ciudades evolucionan, también evolucionan las demandas que se imponen sobre su infraestructura, sus procesos operativos y sus mecanismos de gestión. En consecuencia, la planeación de largo plazo debe considerar de manera permanente la relación entre el crecimiento urbano y la transformación de las condiciones del sistema.

En el caso del Área Metropolitana de Guadalajara, la evolución paralela de la ciudad y del sistema hídrico constituye uno de los elementos centrales para comprender las restricciones actuales y para establecer criterios de análisis orientados a la formulación de alternativas y toma de decisiones. Más que responder al deterioro aislado de un componente o a una problemática específica, este análisis permite reconocer que la seguridad hídrica depende de la capacidad del sistema para adaptarse continuamente a las nuevas condiciones del territorio, de la población y de los servicios que debe sostener.

Figura 1. Evolución paralela de la ciudad y transformación de las condiciones del sistema hídrico metropolitano.



Fuente: Elaboración propia con base en información de INEGI, CONAPO, IMEPLAN, CEA Jalisco, SIAPA y documentación técnica consultada.

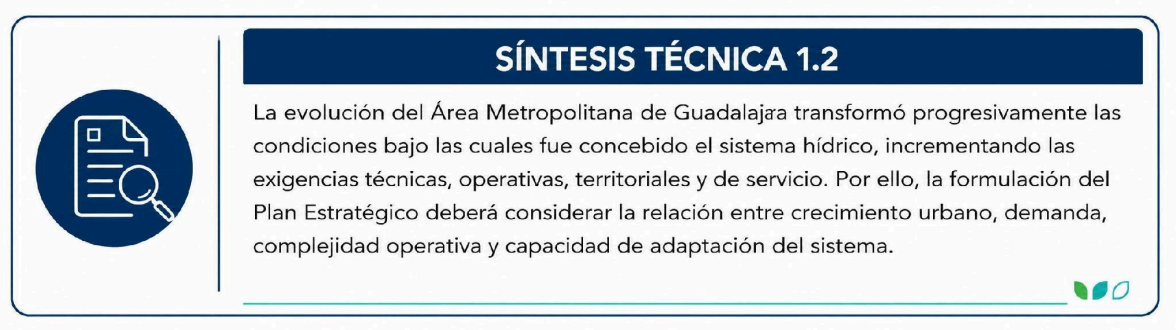
La Figura 1 muestra que la evolución del Área Metropolitana de Guadalajara y la transformación de las condiciones del sistema hídrico han ocurrido de manera paralela durante varias décadas. Mientras la ciudad incrementó su población, su superficie urbana y la demanda de servicios, el sistema respondió mediante ampliaciones sucesivas, incorporación de nuevos componentes y una operación cada vez más compleja.

Cuando el crecimiento urbano, la demanda y la complejidad operativa avanzan más rápidamente que la actualización de las capacidades del sistema, aumenta

la presión sobre los activos existentes, se reducen los márgenes de maniobra y se vuelve necesario fortalecer la planeación de largo plazo, la gestión de activos y la evaluación de alternativas para responder a las nuevas condiciones metropolitanas.

SÍNTESIS TÉCNICA 1.2

La evolución del Área Metropolitana de Guadalajara transformó progresivamente las condiciones bajo las cuales fue concebido el sistema hídrico, incrementando las exigencias técnicas, operativas, territoriales y de servicio. Por ello, la formulación de los instrumentos de planeación estratégica deberán considerar la relación entre crecimiento urbano, demanda, complejidad operativa y capacidad de adaptación del sistema.



1.3 Evolución de la infraestructura y el incremento de la complejidad operativa

El crecimiento de un sistema hídrico metropolitano no consiste únicamente en incorporar nueva infraestructura. Cada fuente de abastecimiento, línea de conducción, planta potabilizadora, estación de bombeo, tanque de regulación, red de distribución, colector o planta de tratamiento modifica las condiciones de operación del sistema y genera nuevas relaciones de dependencia entre sus distintos componentes.

La incorporación progresiva de infraestructura permite ampliar la cobertura, responder al crecimiento de la demanda y fortalecer la prestación de los servicios. Sin embargo, también incrementa los requerimientos técnicos necesarios para coordinar su funcionamiento, conservar condiciones adecuadas de operación y responder oportunamente ante variaciones en la demanda, actividades de mantenimiento o contingencias.

En el caso del Área Metropolitana de Guadalajara, el sistema hídrico experimentó una transformación progresiva durante varias décadas para acompañar el crecimiento urbano y atender las necesidades de una población cada vez mayor. La incorporación de nuevas fuentes de suministro, el aumento de la capacidad de conducción y potabilización, el desarrollo de estaciones de bombeo, la expansión de las redes y el fortalecimiento de la infraestructura de saneamiento permitieron ampliar la prestación de los servicios y sostener el desarrollo metropolitano.

Este proceso configuró un sistema altamente interconectado. A diferencia de sus primeras etapas, cuando la operación se concentraba en un número menor de instalaciones y procesos, actualmente el desempeño de cada componente depende, en distinta medida, del funcionamiento coordinado de otros elementos del sistema.

Una restricción en la conducción puede modificar la capacidad de producción de agua potable; una variación en las características del agua cruda puede incrementar las exigencias de los procesos de tratamiento; una falla electromecánica o eléctrica puede reducir la disponibilidad de una fuente o instalación; y una limitación en la infraestructura de recolección puede afectar el funcionamiento de las plantas de tratamiento y la protección de los cuerpos receptores.

Esta interdependencia genera beneficios operativos, al permitir que distintas fuentes e instalaciones funcionen de manera complementaria, pero también

incrementa la necesidad de contar con mecanismos adecuados de coordinación, monitoreo, mantenimiento, control y respuesta ante contingencias.

La complejidad operativa del sistema no depende únicamente de su configuración hidráulica. También está determinada por la cantidad y diversidad de equipos electromecánicos, los requerimientos energéticos de la captación, conducción, bombeo, potabilización y saneamiento, la disponibilidad de sistemas de medición y telemetría, la calidad de la información operativa y la capacidad institucional para integrar estos elementos dentro de un mismo proceso de toma de decisiones.

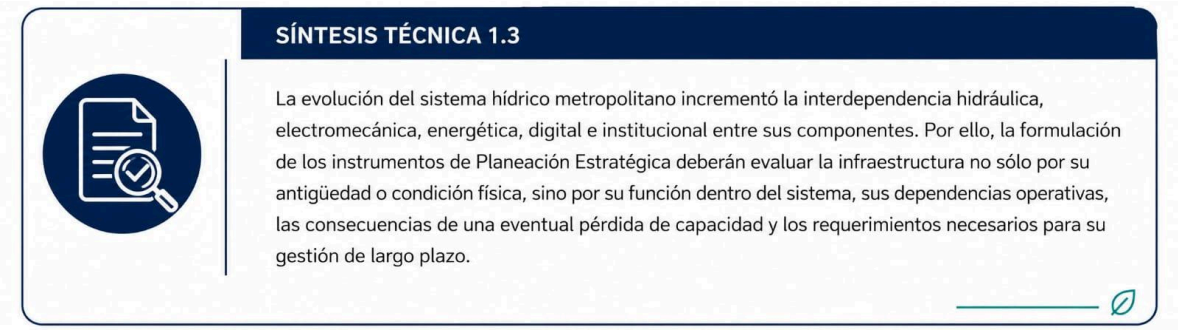
El análisis institucional sobre seguridad y eficiencia energética, hídrica y financiera confirma esta dimensión transversal. La operación metropolitana depende de un conjunto amplio de instalaciones con suministro eléctrico, sistemas de bombeo, pozos, cárcamos, plantas potabilizadoras y plantas de tratamiento, cuya confiabilidad está vinculada con el desempeño energético, la condición electromecánica, la instrumentación y las capacidades de supervisión y control. Estos elementos deberán analizarse de manera específica en el diagnóstico técnico del sistema.

En este contexto, la confiabilidad dejó de depender exclusivamente de la condición física de una instalación determinada. Actualmente depende también de la capacidad del sistema para coordinar sus componentes, mantener información suficiente sobre su desempeño, anticipar fallas, gestionar la energía, realizar actividades de mantenimiento y recuperar oportunamente la operación ante eventos adversos.

Por ello, la evaluación de la infraestructura no debe sustentarse únicamente en su antigüedad, capacidad nominal o condición visible. También debe considerar la función que desempeña cada componente, sus relaciones de dependencia, las consecuencias asociadas a una pérdida de capacidad, la disponibilidad de

alternativas operativas, sus requerimientos energéticos y de información, y la capacidad institucional para conservarlo y operarlo durante su ciclo de vida.

La evolución de la infraestructura y el incremento de la complejidad operativa constituyen, por tanto, elementos fundamentales para la formulación de los instrumentos de planeación estratégica. Su análisis permitirá establecer criterios para identificar los componentes de mayor relevancia funcional, evaluar los riesgos asociados a su desempeño y comparar posteriormente las alternativas orientadas al fortalecimiento integral del sistema.



1.4 El efecto acumulativo del desfase entre la evolución de las exigencias y la actualización de las capacidades del sistema.

La infraestructura hídrica se caracteriza por estar integrada por activos de larga vida útil, cuyo desempeño depende de una gestión continua que articule operación, mantenimiento, conservación, rehabilitación, renovación, monitoreo y actualización tecnológica (ISO,2024). En consecuencia, la capacidad de un sistema para responder a nuevas condiciones no depende únicamente de la incorporación de infraestructura, sino también de la manera en que evolucionan sus procesos operativos, sus mecanismos de gestión y sus capacidades institucionales.

Conforme una ciudad crece y se transforma, también evolucionan las exigencias que enfrenta su sistema hídrico. El incremento de la demanda, la expansión

territorial, la mayor interdependencia entre los componentes, el fortalecimiento de los estándares de calidad, los requerimientos de eficiencia energética, la protección ambiental, la gestión del riesgo y la necesidad de mantener mayores niveles de continuidad modifican progresivamente las condiciones bajo las cuales deben prestarse los servicios.

Cuando las capacidades físicas, operativas, tecnológicas e institucionales del sistema no evolucionan al mismo ritmo que estas exigencias, puede generarse una brecha acumulativa de desempeño. Esta brecha no implica necesariamente ausencia de inversión, mantenimiento o actuación institucional. Expresa la diferencia que puede surgir entre las condiciones para las cuales fueron concebidos determinados componentes y los requerimientos que actualmente deben atender.

La literatura especializada advierte que posponer la renovación de redes que han alcanzado el final de su vida de servicio puede incrementar la frecuencia de fallas, deteriorar la continuidad del servicio y elevar los gastos asociados a reparaciones de emergencia. La determinación de esta condición en el Área Metropolitana de Guadalajara deberá sustentarse en el catastro de infraestructura, la evaluación del estado de los activos, los indicadores de desempeño y el historial de fallas del sistema (AWWA, 2012).

Durante este proceso, las instituciones responsables continúan desarrollando acciones de operación, conservación, rehabilitación y atención de contingencias para mantener la continuidad de los servicios. Estas acciones resultan indispensables y permiten prolongar la vida útil de los activos; sin embargo, cuando el sistema opera durante periodos prolongados bajo condiciones distintas a las originalmente consideradas, pueden reducirse sus márgenes de maniobra y aumentar los requerimientos de mantenimiento, energía, supervisión y coordinación.

Los efectos de esta brecha no se manifiestan de la misma manera en todos los componentes. En algunos casos pueden expresarse como una reducción de la flexibilidad operativa; en otros, como una mayor dependencia de activos críticos, incremento de costos, menor eficiencia energética, insuficiencia de información para la toma de decisiones o una capacidad limitada para responder ante fallas, actividades de mantenimiento y eventos extraordinarios.

Por esta razón, la existencia y magnitud de una brecha de capacidad no deben inferirse exclusivamente a partir de la antigüedad de la infraestructura ni de la identificación aislada de una falla. Deben evaluarse mediante indicadores verificables relacionados con el desempeño hidráulico, la continuidad del servicio, la eficiencia energética, la frecuencia de fallas, los requerimientos de mantenimiento, la redundancia disponible, el cumplimiento normativo, la calidad de la información operativa y la capacidad de recuperación del sistema.

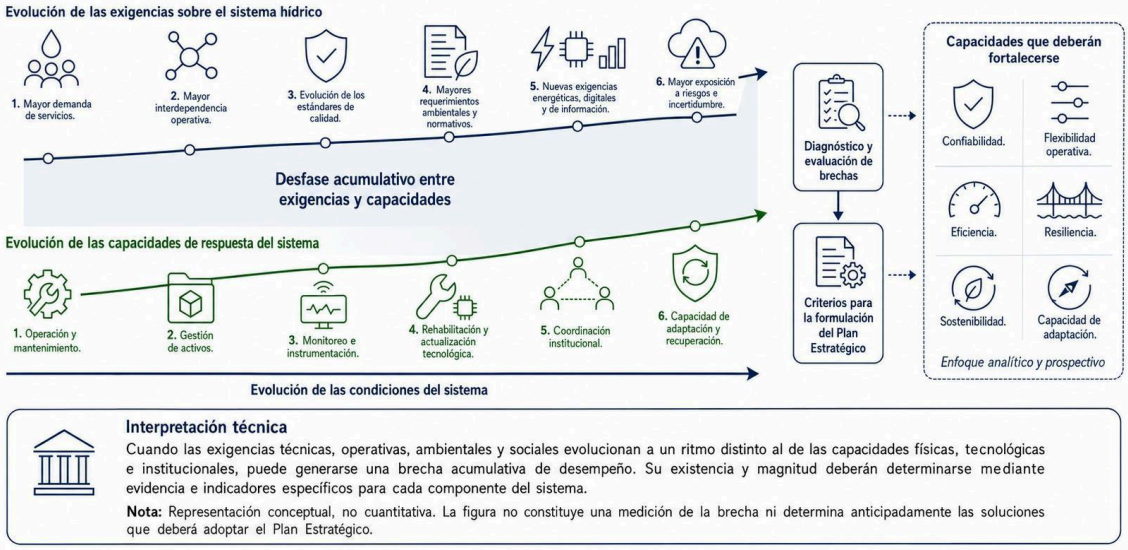
La gestión de activos basada en inventarios actualizados, evaluación de condición, criticidad, riesgos y costos del ciclo de vida permite transitar desde un mantenimiento predominantemente reactivo hacia una gestión preventiva y sustentada en evidencia (Hallegatte et al., 2019).

En el Área Metropolitana de Guadalajara coexiste infraestructura desarrollada en distintas etapas históricas y con diferentes condiciones de operación, conservación y actualización. Esta heterogeneidad hace necesario analizar cada componente conforme a su función dentro del sistema y evitar generalizaciones que atribuyan una misma condición al conjunto de los activos.

El propósito de este análisis no consiste en determinar anticipadamente qué infraestructura debe sustituirse o modernizarse. Su función es establecer que la formulación de los instrumentos de planeación estratégica deberán identificar dónde existen brechas entre las exigencias actuales y las capacidades disponibles, evaluar su relevancia para la seguridad hídrica y comparar las alternativas más adecuadas para atenderlas.

De esta manera, la evolución de las exigencias y la actualización de las capacidades del sistema se convierten en variables fundamentales para la planeación. Su análisis permite distinguir entre necesidades de operación y mantenimiento, requerimientos de rehabilitación, oportunidades de mejora tecnológica, fortalecimiento institucional y posibles cambios estructurales, sin anticipar la solución que deberá adoptarse en cada caso.

Figura 2. Efecto acumulativo del desfase entre la evolución de las exigencias y la actualización de las capacidades del sistema hídrico.



Fuente: Elaboración propia con base en los principios de gestión de activos establecidos en ISO 55000 e ISO 55001, literatura especializada sobre infraestructura hídrica y la metodología desarrollada para las presentes Bases Técnicas.

La Figura 2 representa conceptualmente la brecha que puede generarse cuando las exigencias técnicas, operativas, ambientales y sociales evolucionan a un ritmo distinto al de las capacidades físicas, tecnológicas e institucionales del sistema. La amplitud de esta brecha no constituye un resultado cuantificado en la figura; deberá determinarse mediante el diagnóstico y los indicadores específicos aplicables a cada componente.

Su identificación permitirá que los instrumentos de planeación estratégica diferencien las necesidades de mantenimiento, rehabilitación, actualización

tecnológica, fortalecimiento institucional o transformación estructural y evalúe las alternativas correspondientes sin adoptar anticipadamente una solución.

1.5 La evolución de las exigencias sobre el sistema hidráulico metropolitano

La evolución del sistema hídrico del Área Metropolitana de Guadalajara no ha estado determinada únicamente por el crecimiento de la ciudad, el incremento de la demanda o la incorporación progresiva de infraestructura. Paralelamente, también se han transformado las condiciones técnicas, normativas, ambientales, sociales e institucionales bajo las cuales deben prestarse y evaluarse los servicios relacionados con el agua.

Durante las primeras etapas de desarrollo del sistema, los principales retos se concentraban en ampliar el abastecimiento, incrementar la cobertura y disponer de infraestructura suficiente para atender a una población considerablemente menor. Los criterios de diseño y operación respondían a las condiciones demográficas, territoriales, tecnológicas y regulatorias existentes en cada periodo.

Conforme avanzaron el desarrollo urbano, el conocimiento científico y el marco normativo, las exigencias sobre el sistema se ampliaron. La prestación de los servicios dejó de evaluarse únicamente en función del volumen de agua suministrado o de la capacidad instalada y comenzó a incorporar criterios relacionados con la calidad del agua, la continuidad del servicio, la confiabilidad

de la infraestructura, la protección ambiental, el saneamiento, la eficiencia operativa y el derecho humano al agua y al saneamiento

Actualmente, la gestión del sistema hídrico metropolitano requiere considerar de manera conjunta múltiples dimensiones de desempeño. Entre ellas se encuentran la disponibilidad y calidad del recurso; la continuidad, cobertura y accesibilidad de los servicios; la eficiencia hídrica y energética; la resiliencia frente a fallas y fenómenos hidrometeorológicos; la protección de las fuentes y los cuerpos receptores; la sostenibilidad financiera; la disponibilidad de información confiable; y la capacidad institucional para planear, operar, mantener, coordinar y adaptar el sistema frente a condiciones cambiantes.

A estas transformaciones se suman los cambios observados en las condiciones de las fuentes de abastecimiento. La variabilidad hidrológica, la transformación de las cuencas, el arrastre de sedimentos, las aportaciones externas y la presencia de contaminantes pueden modificar las características del agua cruda y aumentar las exigencias sobre los sistemas de conducción y potabilización.

Estas exigencias no actúan de manera independiente. La evolución de los estándares de calidad modifica los requerimientos de potabilización y saneamiento; la continuidad del servicio depende de la confiabilidad, redundancia y flexibilidad operativa de la infraestructura; la eficiencia energética influye sobre los costos de operación y la sostenibilidad financiera; y la gestión del agua pluvial requiere integrar la infraestructura con el ordenamiento territorial, la conservación de cuencas y la reducción del riesgo.

De igual manera, la incorporación de tecnologías de medición, telemetría, automatización y análisis de datos ha transformado los criterios bajo los cuales debe evaluarse la capacidad operativa del sistema. Disponer de infraestructura física resulta indispensable, pero también lo es contar con información

oportuna, mecanismos de supervisión y capacidades técnicas que permitan comprender el comportamiento del sistema y respaldar la toma de decisiones.

A estas condiciones se suman la variabilidad climática, la mayor exposición a eventos extremos, la presión sobre las fuentes de abastecimiento, la necesidad de recuperar y reutilizar el agua cuando las condiciones técnicas y normativas lo permitan, y la creciente demanda social por servicios públicos más eficientes, transparentes, sostenibles y confiables.

En consecuencia, el desempeño del sistema hídrico metropolitano no puede evaluarse exclusivamente a partir de la antigüedad de sus activos, su capacidad nominal o la existencia de infraestructura. Debe analizarse desde una perspectiva multidimensional que considere la forma en que sus componentes responden, de manera individual y conjunta, a las exigencias actuales y futuras del territorio.

Las presentes Bases Técnicas no determinan anticipadamente la manera en que cada una de estas exigencias deberá atenderse. Su función consiste en identificarlas, integrarlas dentro de un marco común de análisis y establecer los criterios que deberá considerar la formulación de los instrumentos de planeación estratégica al momento de evaluar y comparar alternativas.

Bajo este enfoque, los instrumentos de planeación estratégica deberán valorar no solamente la capacidad física de las distintas alternativas, sino también su contribución a la calidad y continuidad de los servicios, la confiabilidad operativa, la eficiencia energética, la sostenibilidad ambiental y financiera, la adaptación frente al cambio climático, la generación de información y el fortalecimiento institucional.

Dentro de esta evolución adquieren especial relevancia cuatro capacidades transversales para el sistema hídrico metropolitano: la gestión del ciclo de vida y la renovación progresiva de las redes de agua potable y alcantarillado; la

diferenciación funcional entre los sistemas sanitario y pluvial, particularmente en los sectores donde existen redes combinadas, interconexiones o aportaciones que incrementan las cargas hidráulicas; el monitoreo en tiempo real mediante instrumentación, telemetría y mecanismos integrados de control operacional; y la consolidación de una capacidad permanente de investigación aplicada, innovación y gestión del conocimiento. Estas necesidades no determinan por sí mismas soluciones específicas, pero sí constituyen condiciones que el diagnóstico y la formulación de los instrumentos de planeación estratégica deberán analizar con atención prioritaria.

La amplitud y la interdependencia de estas exigencias también evidencian que su análisis no puede recaer en una sola institución, disciplina o ámbito de actuación. Requiere integrar conocimiento operativo, científico, territorial, ambiental, financiero y social, así como mecanismos de coordinación y participación que permitan construir una comprensión compartida sobre las condiciones y necesidades del sistema. Esta consideración constituye el punto de enlace con el capítulo siguiente, dedicado al proceso de construcción colectiva del conocimiento.

1.6 La distribución de competencias y la corresponsabilidad en la gestión del sistema hídrico metropolitano

La complejidad del sistema hídrico metropolitano no deriva únicamente de sus condiciones físicas, técnicas o ambientales. Su gestión se desarrolla en un marco

de competencias distribuidas entre distintos órdenes de gobierno, organismos operadores e instituciones responsables de la planeación territorial, la gestión ambiental, el abastecimiento, el saneamiento, la regulación de descargas y la protección de las fuentes.

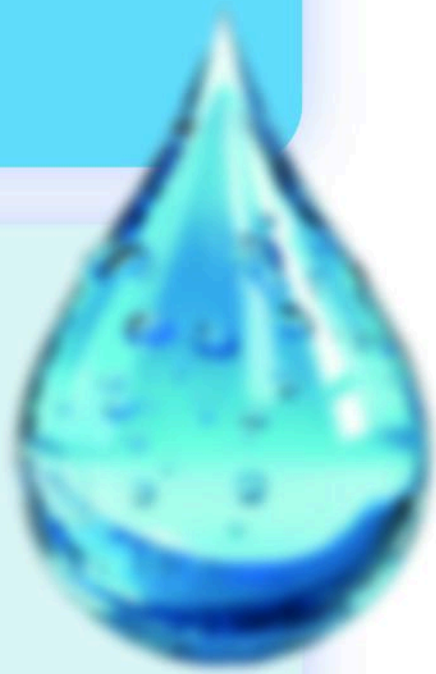
Esta distribución de atribuciones responde al marco institucional vigente y, por sí misma, no constituye una deficiencia. Sin embargo, la interdependencia entre los componentes del sistema exige mecanismos permanentes de coordinación y corresponsabilidad.

En consecuencia, la capacidad del sistema para responder a sus restricciones depende también de la articulación entre la Federación, el Estado y los municipios. La seguridad hídrica metropolitana requiere claridad en las responsabilidades, intercambio de información, coordinación de las acciones de prevención, vigilancia y atención, así como continuidad en los acuerdos entre instituciones. La ausencia o fragmentación de estos mecanismos puede trasladar presiones entre los distintos componentes del sistema y limitar la atención de las causas estructurales de los problemas.

La corresponsabilidad intergubernamental constituye, por tanto, una condición relevante para la gestión integral del agua. Su fortalecimiento permite articular atribuciones y responsabilidades frente a problemas cuya dinámica territorial, ambiental e hidráulica trasciende los límites administrativos y las competencias de una sola institución.

BASES TÉCNICAS

PARA LA PRIORIZACIÓN
DE LAS INTERVENCIONES ESTRATÉGICAS
PARA LA SEGURIDAD HÍDRICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJAR



CAPÍTULO II

CONSTRUCCIÓN COLECTIVA DEL CONOCIMIENTO

COMO FUNDAMENTO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN ESTRATÉGICO

JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

CAPÍTULO II

CONSTRUCCIÓN COLECTIVA DEL CONOCIMIENTO COMO FUNDAMENTO PARA LA FORMULACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN ESTRATÉGICA

La gestión del agua constituye uno de los desafíos públicos más complejos que enfrentan las áreas metropolitanas. Su naturaleza transversal implica la interacción de factores hidrológicos, hidráulicos, ambientales, territoriales, operativos, energéticos, financieros, sociales e institucionales que no pueden ser comprendidos ni gestionados adecuadamente desde una sola disciplina, institución o nivel de gobierno.

Por esta razón, la formulación de los instrumentos de planeación estratégica requieren integrar distintas fuentes de conocimiento. La experiencia operativa de los organismos responsables de los servicios; la información generada por las instituciones públicas; la investigación científica y académica; la práctica profesional; el conocimiento territorial de los sectores sociales y productivos; y las experiencias nacionales e internacionales aportan elementos complementarios para comprender el funcionamiento del sistema hídrico y los desafíos que enfrenta.

En el Área Metropolitana de Guadalajara, la base técnica que sustenta el presente documento fue construyéndose progresivamente mediante diagnósticos institucionales, estudios especializados, campañas de medición, investigaciones académicas, instrumentos de planeación, mesas técnicas, jornadas de diálogo, ejercicios de articulación profesional y mecanismos de cooperación nacional e internacional.

La corresponsabilidad intergubernamental constituye, por tanto, una condición relevante para la gestión integral del agua. Su fortalecimiento permite articular atribuciones y responsabilidades frente a problemas cuya dinámica territorial,

ambiental e hidráulica trasciende los límites administrativos y las competencias de una sola institución.

Estos procesos permitieron recuperar información previamente generada, contrastar interpretaciones, identificar vacíos de conocimiento, reconocer coincidencias entre distintos actores y ampliar la comprensión sobre las interdependencias existentes entre abastecimiento, conducción, potabilización, distribución, saneamiento, gestión pluvial, territorio, energía y capacidades institucionales.

Bajo esta perspectiva, el valor de la participación no radica únicamente en el número de instituciones o especialistas involucrados, sino en su capacidad para enriquecer la evidencia disponible, hacer visibles distintas dimensiones del sistema y fortalecer la trazabilidad de los criterios que deberán utilizarse en las etapas posteriores de planeación.

Los apartados siguientes describen la evolución de este proceso, las principales aportaciones generadas desde los distintos ámbitos de participación y la manera en que dichas contribuciones permitieron consolidar una base técnica común para identificar restricciones, determinar capacidades por fortalecer y establecer criterios para la posterior evaluación de alternativas.

2.1 Evolución del proceso de construcción técnica y colectiva del conocimiento

La construcción de las presentes Bases Técnicas fue precedida por un proceso continuo de generación, recuperación e integración de conocimiento relacionado con la gestión del agua en Jalisco y, particularmente, con el funcionamiento del sistema hídrico del Área Metropolitana de Guadalajara.

Durante varias décadas, instituciones públicas, organismos operadores, universidades, centros de investigación, colegios y asociaciones profesionales,

organizaciones sociales, iniciativa privada y especialistas desarrollaron diagnósticos, estudios, proyectos, investigaciones, campañas de medición y ejercicios de planeación que aportaron información relevante sobre distintos componentes del sistema.

Sin embargo, una parte importante de este conocimiento se encontraba distribuida entre diferentes instituciones, periodos, disciplinas y escalas territoriales. Esta dispersión dificultaba interpretar de manera conjunta los resultados, reconocer la continuidad entre los estudios y establecer relaciones entre las problemáticas identificadas en el abastecimiento, la infraestructura, el saneamiento, la gestión pluvial, el territorio y la capacidad institucional.

En respuesta a esta condición, durante los últimos años se impulsaron distintos espacios de articulación técnica orientados a recuperar y analizar los instrumentos existentes, contrastar diagnósticos, incorporar nuevas perspectivas y construir una comprensión más amplia sobre los desafíos hídricos del territorio.

Entre estos espacios se encuentran los procesos vinculados con el Modelo de Gestión Hídrica para Jalisco, las mesas técnicas desarrolladas alrededor de sus ejes temáticos, las Jornadas de Gestión Hídrica Metropolitana, los estudios elaborados por las instituciones responsables del sector, las investigaciones académicas, las aportaciones de los colegios y organismos profesionales y los mecanismos de cooperación técnica nacional e internacional.

Cada uno de estos ejercicios cumplió una función diferente. Algunos contribuyeron con información sobre la condición y operación de la infraestructura; otros aportaron metodologías de análisis, escenarios territoriales, conocimiento científico, experiencia profesional, referencias regulatorias o modelos de gestión desarrollados en otros contextos.

La integración progresiva de estas aportaciones permitió identificar coincidencias en torno a distintos desafíos estructurales: la necesidad de fortalecer la confiabilidad del abastecimiento; gestionar el ciclo de vida de la infraestructura; renovar, rehabilitar y modernizar redes y activos estratégicos; mejorar la integración entre los sistemas sanitario y pluvial; incorporar monitoreo en tiempo real y capacidades de control operacional; fortalecer la investigación aplicada; proteger las cuencas; y consolidar mecanismos permanentes de coordinación institucional.

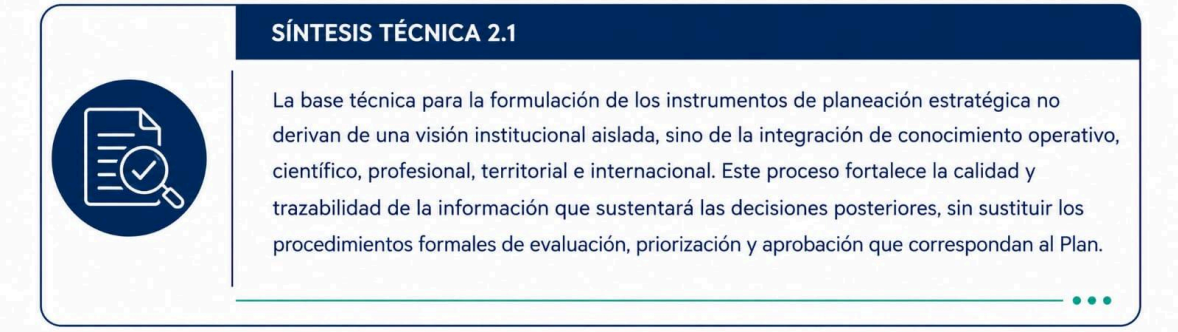
Este proceso no eliminó la diversidad de perspectivas ni sustituyó la evaluación técnica que deberá realizarse durante la formulación de los instrumentos de planeación estratégica. Su aportación consistió en construir una base de conocimiento más amplia, ordenada y trazable, que permita analizar las condiciones del sistema desde una perspectiva integral y reducir la dependencia de diagnósticos aislados.

Como resultado, las presentes Bases Técnicas integran aprendizajes acumulados a lo largo de varios años y organizan información proveniente de la experiencia operativa, la investigación científica, la práctica profesional, la planeación institucional, la participación multisectorial y la cooperación internacional.

Esta integración proporciona el fundamento necesario para identificar las restricciones del sistema, determinar las capacidades que requieren fortalecerse y establecer criterios para que, durante la formulación de los instrumentos de planeación estratégica, puedan evaluarse y compararse distintas alternativas de actuación.

La Figura 3 muestra que las presentes Bases Técnicas se sustentan en la convergencia de múltiples fuentes de conocimiento. La experiencia operativa, la información institucional, la investigación científica, la práctica profesional, las perspectivas territoriales y la cooperación técnica aportaron elementos complementarios para construir una comprensión integral del sistema hídrico metropolitano.

Esta convergencia permitió organizar la evidencia disponible, identificar vacíos de información y establecer una base común para el diagnóstico. Su función no fue determinar anticipadamente las acciones que integrarán los instrumentos de planeación estratégica, sino proporcionar los elementos necesarios para que las alternativas futuras puedan evaluarse mediante criterios explícitos, información verificable y una visión sistémica.



2.2 Aportaciones de los distintos ámbitos a la construcción de una base técnica común

La elaboración de las presentes Bases Técnicas requirió integrar conocimientos, información y experiencias generadas desde distintos ámbitos relacionados con la gestión del agua. Cada sector aportó elementos específicos para comprender la complejidad del sistema hídrico metropolitano, identificar sus interdependencias, reconocer vacíos de información y establecer criterios para su evaluación integral.

Las instituciones públicas responsables de la planeación, regulación y gestión del agua contribuyeron mediante instrumentos de política pública, información territorial, antecedentes administrativos, marcos normativos y mecanismos de coordinación. Estas aportaciones permitieron ubicar el análisis dentro de las competencias institucionales existentes y reconocer los aspectos que requieren articulación entre los distintos órdenes de gobierno.

Los organismos operadores aportaron la experiencia acumulada en la prestación cotidiana de los servicios, el conocimiento directo de la infraestructura y la información derivada de la operación, el mantenimiento y la atención de contingencias. Su participación permitió incorporar al análisis las condiciones reales bajo las cuales funcionan las fuentes de abastecimiento, los sistemas de conducción y bombeo, las plantas potabilizadoras, las redes de distribución, el alcantarillado y la infraestructura de saneamiento.

La academia y los centros de investigación fortalecieron el proceso mediante estudios especializados, metodologías de análisis, modelación, evaluación de tecnologías, generación de escenarios y conocimiento científico sobre los procesos hidrológicos, hidráulicos, ambientales, energéticos, territoriales y sociales relacionados con la gestión del agua. Estas contribuciones permitieron ampliar la perspectiva temporal del diagnóstico, incorporar condiciones de incertidumbre y reconocer la necesidad de contar con capacidades permanentes de investigación aplicada y gestión del conocimiento.

Los colegios de profesionistas, asociaciones técnicas y especialistas aportaron experiencia profesional, análisis interdisciplinario, recuperación de antecedentes, contraste técnico y espacios de articulación entre instituciones, academia y sociedad. Su participación contribuyó a vincular diagnósticos elaborados en distintos periodos y a identificar necesidades de largo plazo que trascienden la atención inmediata de contingencias operativas.

Los sectores sociales y productivos aportaron conocimiento territorial, información sobre las condiciones de prestación de los servicios, afectaciones recurrentes y necesidades asociadas al desarrollo urbano, la actividad económica y la protección ambiental. Estas perspectivas permiten reconocer que el desempeño del sistema hídrico no debe evaluarse únicamente a partir de indicadores de infraestructura, sino también por sus efectos sobre la población, el territorio y las actividades que dependen del agua.

Los procesos de articulación vinculados con el Modelo de Gestión Hídrica para Jalisco, las mesas técnicas y las Jornadas de Gestión Hídrica Metropolitana permitieron recuperar y contrastar estas aportaciones dentro de espacios de diálogo multisectorial. Su principal contribución consistió en integrar información que anteriormente se encontraba dispersa, identificar coincidencias entre distintos diagnósticos y hacer visibles necesidades que requieren un tratamiento sistémico dentro de la planeación metropolitana.

Entre los temas recurrentes identificados mediante estos ejercicios se encuentran la gestión del ciclo de vida, rehabilitación, renovación y modernización progresiva de las redes de agua potable y alcantarillado; la necesidad de evaluar y atender las configuraciones combinadas, interconexiones y aportaciones entre los sistemas sanitario y pluvial; el fortalecimiento de la medición, la telemetría, el monitoreo en tiempo real y el control operacional integrado; y la consolidación de una capacidad permanente de investigación aplicada, innovación y formación técnica especializada en materia de agua.

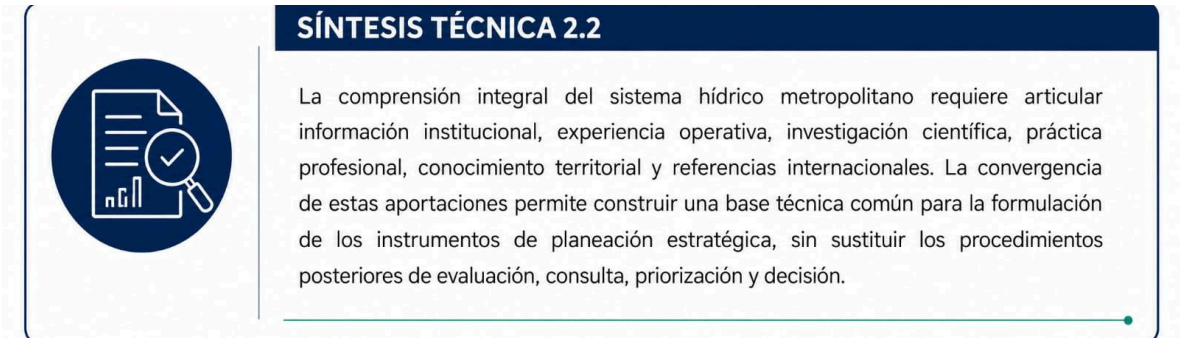
La identificación de estos temas no implica que se haya adoptado anticipadamente una solución, configuración tecnológica o mecanismo institucional determinado. Constituye evidencia de que el diagnóstico y la formulación de los instrumentos de planeación estratégica deberán analizarlos de manera específica, dimensionar su alcance y evaluar las alternativas técnica, territorial e institucionalmente viables.

De manera complementaria, la cooperación técnica nacional e internacional permitió conocer experiencias desarrolladas en otros contextos e incorporar enfoques relacionados con la gestión integrada de los recursos hídricos, la resiliencia, la gestión de activos, la economía circular, la eficiencia energética, la innovación tecnológica, la recuperación del funcionamiento hidrológico y la adaptación al cambio climático.

Estas experiencias no fueron consideradas como modelos susceptibles de reproducirse automáticamente en el Área Metropolitana de Guadalajara. Su valor consiste en proporcionar referencias comparativas, metodologías y aprendizajes que deberán analizarse conforme a las condiciones físicas, sociales, económicas, ambientales e institucionales del territorio metropolitano.

En conjunto, las aportaciones provenientes de los distintos ámbitos permitieron conformar una base técnica común para las presentes Bases. Esta base no sustituye los procedimientos formales de consulta, evaluación o toma de decisiones, ni representa la adhesión automática de los participantes a todas las alternativas que posteriormente puedan analizarse.

Su función consiste en enriquecer la comprensión del sistema hídrico, fortalecer la trazabilidad de la información y proporcionar elementos para que la formulación de los instrumentos de planeación estratégica se sustentan en conocimiento operativo, científico, profesional, territorial e institucional.



2.3 Consolidación de una base técnica común para la formulación de los instrumentos de planeación estratégica.

La formulación de las presentes Bases Técnicas no derivó de un único ejercicio de planeación ni de una sola fuente de información. Constituye el resultado de un proceso progresivo de recuperación, integración y contraste de conocimientos generados en distintos momentos, escalas territoriales y ámbitos de actuación.

Durante los últimos años, instituciones públicas, organismos operadores, universidades, centros de investigación, colegios y asociaciones profesionales, organizaciones sociales, sectores productivos y especialistas desarrollaron estudios, diagnósticos, propuestas, instrumentos de planeación y espacios de

análisis que aportaron elementos para comprender distintos componentes del sistema hídrico metropolitano.

Cada una de estas aportaciones tuvo un alcance particular. Algunas proporcionaron información sobre la condición física y operativa de la infraestructura; otras permitieron analizar la evolución urbana y territorial, estudiar el comportamiento hidrológico, evaluar riesgos, revisar tecnologías, identificar necesidades institucionales o conocer experiencias aplicadas en otros contextos.

La integración de estas fuentes no tuvo como propósito uniformar las perspectivas ni convertirlas en una posición institucional única. Su función consistió en ordenar la información disponible, reconocer coincidencias entre diagnósticos, identificar diferencias de alcance o interpretación, distinguir los aspectos suficientemente documentados de aquellos que requieren estudios adicionales y establecer una base común para el análisis del sistema hídrico.

En este proceso se identificaron temas recurrentes que deberán recibir atención específica durante la formulación de los instrumentos de planeación estratégica. Entre ellos se encuentran la gestión del ciclo de vida, rehabilitación, renovación y modernización progresiva de las redes de agua potable y alcantarillado; la evaluación de las configuraciones combinadas, interconexiones y aportaciones entre los sistemas sanitario y pluvial; el fortalecimiento de la medición, la telemetría, el monitoreo en tiempo real y el control operacional integrado; y la consolidación de capacidades permanentes de investigación aplicada, innovación y gestión del conocimiento.

También se reconoció la necesidad de fortalecer la eficiencia operativa y energética del sistema. La evaluación institucional desarrollada por el SIAPA identifica una amplia dependencia de instalaciones electromecánicas y sistemas de bombeo, así como oportunidades de mejora relacionadas con la condición de los equipos, la seguridad energética, la instrumentación, la

telemetría y la capacidad de supervisión operativa. Este estudio se incorpora como un insumo diagnóstico transversal; sus estimaciones, tecnologías y alcances específicos deberán validarse posteriormente antes de ser considerados para la toma de decisiones estratégicas.

La consolidación de esta base técnica permitió definir un marco común para examinar el sistema desde distintas dimensiones: confiabilidad del abastecimiento, calidad del agua, condición y criticidad de los activos, eficiencia operativa y energética, saneamiento, gestión del agua pluvial, resiliencia territorial, sostenibilidad ambiental, información, gobernanza y capacidad institucional.

Este marco no constituye todavía una priorización de proyectos ni determina anticipadamente las soluciones que deberá adoptar el Plan. Su aportación consiste en establecer qué aspectos requieren ser evaluados, qué evidencia se encuentra disponible, qué vacíos de información deben atenderse y qué capacidades deben considerarse al comparar las diferentes alternativas de actuación.

Por tanto, las presentes Bases Técnicas representan la síntesis ordenada de un proceso de construcción de conocimiento. La participación de instituciones, organizaciones y especialistas en los distintos espacios de análisis no implica su adhesión automática a todas las conclusiones, alternativas o decisiones que posteriormente puedan incorporarse a los instrumentos de planeación estratégica.

Sobre esta base se desarrolla, en el capítulo siguiente, el diagnóstico del sistema hídrico del Área Metropolitana de Guadalajara. Dicho diagnóstico permitirá analizar las condiciones actuales del sistema, identificar sus restricciones estructurales, reconocer los riesgos asociados a su permanencia y determinar las capacidades que deberán fortalecerse durante la formulación de los

instrumentos de planeación estratégica para el Área Metropolitana de Guadalajara.

Cuadro 1. Principales aportaciones a la construcción de la base técnica para la formulación de los instrumentos de planeación estratégica

	1. Fuente o espacio de construcción técnica	2. Aportación principal	3. Aplicación en las Bases Técnicas
1	Modelo de Gestión Hídrica para Jalisco	Integración de instrumentos previamente desarrollados, organización del análisis en seis ejes temáticos e identificación de una agenda inicial de 82 acciones para el estado.	Proporciona el antecedente metodológico y permite reconocer los temas metropolitanos que requieren un análisis específico.
2	Mesas técnicas y Jornadas de Gestión Hídrica Metropolitana	Espacios multisectoriales para recuperar información, contrastar diagnósticos e identificar necesidades recurrentes.	Contribuyen a identificar capacidades transversales, vacíos de información y temas que deberá analizar el Plan Estratégico.
3	Información y diagnósticos de la SGIA, CEA y SIAPA	Conocimiento institucional y operativo sobre fuentes, infraestructura, producción, redes, saneamiento, mantenimiento y prestación de los servicios.	Constituyen la base factual para caracterizar el sistema e identificar condiciones que requieren una evaluación técnica más profunda.
4	Instrumentos de planeación metropolitana, territorial y municipal	Información sobre crecimiento urbano, población, usos del suelo, expansión de los servicios, cuencas y zonas de riesgo.	Permiten relacionar el funcionamiento del sistema hídrico con la evolución urbana y territorial del Área Metropolitana de Guadalajara.
5	Universidades, academia y centros de investigación	Investigación científica, metodológías, modelación, análisis prospectivo y evaluación de tecnológías.	Fortalecen el sustento científico del diagnóstico y aportan criterios para analizar condiciones presentes, futuras y de incertidumbre.
6	Estudios especializados del IMTA y otras instituciones técnicas	Análisis sobre riesgo por inundaciones, drenaje urbano, funcionamiento hidrológico, infraestructura y gestión integral del agua.	Aportan criterios para evaluar la gestión pluvial, la recuperación de cuencas, el mantenimiento y la adaptación territorial.
7	Universidad de Saskatchewan	Propuesta metodológica para la modelación probabilística de inundaciones, análisis multicausal y escenarios no estacionarios.	Proporciona elementos para analizar la inteligencia territorial y la gestión adaptativa del riesgo, sin constituir una solución adoptada.
8	Cooperación técnica y cientifica internacional	Experiencias comparadas sobre gestión de activos, abastecimiento, saneamiento, economía circular, innovación, monitoreo y adaptación climática.	Proporciona referencias y aprendizajes que deberán evaluarse y adaptarse a las condiciones específicas del AMG.
9	Colegios, asociaciones profesionales y especialistas	Experiencia profesional, recuperación de antecedentes, análisis interdisciplinario y contraste técnico.	Contribuyen a vincular estudios de distintos periodos, identificar necesidades de largo plazo y ampliar la revisión técnica.
10	Sectores sociales y productivos	Copocimiento territorial, experiencias de usuarios, afectaciones recurrentes y necesidades asociadas a los servicios y actividades económicas.	Incorporan al diagnóstico la relación entre el desempeño del sistema, la población, las actividades productivas y las condiciones del territorio.
11	Evaluación institucional sobre seguridad y eficiencia energética, hídrica y financiera del SIAPA	Caracterización preliminar de instalaciones con suministro eléctrico, sistemas de bombeo, pozos, consumo energético, infraestructura electromecánica, telemetría y control operacional.	Sustenta la incorporación de una dimensión transversal de eficiencia operativa, energética y digital. Sus cifras, costos y propuestas tecnológicas deberán conciliarse y validarse antes de su utilización definitiva.

Nota:
Las fuentes y espacios incluidos poseen alcances, metodologías, fechas y niveles de madurez distintos. Su incorporación reconoce su contribución a la construcción de la base técnica, pero no implica equivalencia entre sus resultados, aprobación automática de sus propuestas ni adhesión institucional a las decisiones que posteriormente pueden adoptar los instrumentos de planeación estratégica.

Fuente:
Elaboración propia con base en el Modelo de Gestión Hídrica para Jalisco, las mesas técnicas y Jornadas de Gestión Hídrica Metropolitana, información institucional de la SGIA, CEA y SIAPA, instrumentos de planeación metropolitana, estudios académicos y especializados, y mecanismos de cooperación técnica considerados para la elaboración de las presentes Bases Técnicas.

La integración de las aportaciones descritas en el Cuadro 1 permitió conformar una base técnica común para analizar los principales desafíos del sistema hídrico del Área Metropolitana de Guadalajara desde una perspectiva sistémica. Esta base no representa un consenso definitivo sobre las acciones que deberán incorporarse a los instrumentos de planeación estratégica. Constituye un marco de conocimiento que permite identificar qué condiciones deben diagnosticarse, qué capacidades requieren fortalecerse y qué criterios deberán utilizarse para evaluar posteriormente las alternativas de actuación.

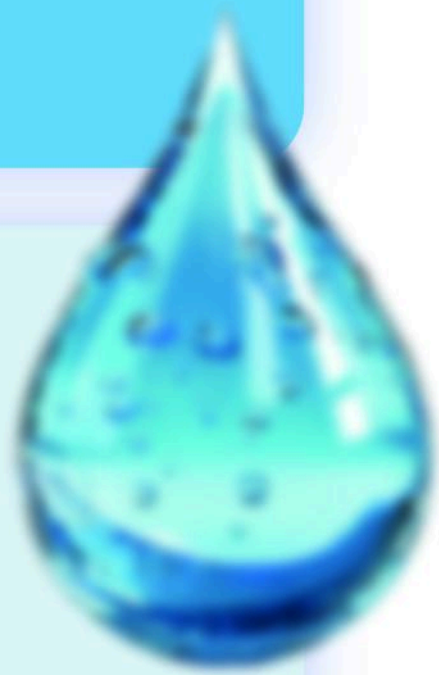
A partir de este marco, el Capítulo III desarrolla el diagnóstico del sistema hídrico metropolitano, estableciendo una relación trazable entre la evidencia disponible, las restricciones identificadas y los elementos que deberá considerar la formulación de toma de decisiones.

SÍNTESIS TÉCNICA 2.3

Las presentes Bases Técnicas consolidan información generada desde distintos ámbitos en una estructura común de análisis. Su función no es declarar una visión unánime ni aprobar anticipadamente soluciones, sino proporcionar evidencia, criterios y trazabilidad para que la formulación de los instrumentos de planeación estratégica puedan identificar, evaluar y comparar alternativas con una perspectiva integral y de largo plazo.

BASES TÉCNICAS

PARA LA PRIORIZACIÓN
DE LAS INTERVENCIONES ESTRATÉGICAS
PARA LA SEGURIDAD HÍDRICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJAR



CAPÍTULO III

DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y SISTÉMICO DEL SISTEMA HÍDRICO DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

CAPÍTULO III

DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y SISTÉMICO DEL SISTEMA HÍDRICO DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

La toma de decisiones y planeación estratégica de Gestión Integral del Agua para el Área Metropolitana de Guadalajara requiere partir de un diagnóstico capaz de explicar cómo funciona actualmente el sistema hídrico, cuáles son las condiciones que limitan su desempeño, qué riesgos se derivan de su permanencia y qué capacidades deberán fortalecerse para responder a las necesidades presentes y futuras del territorio.

El diagnóstico constituye, por tanto, el vínculo entre la evidencia disponible y las decisiones que deberán adoptarse durante la formulación de los instrumentos de planeación estratégica. Su función no consiste en seleccionar anticipadamente proyectos, obras o tecnologías, sino en establecer una comprensión verificable del sistema que permita comparar posteriormente distintas alternativas de actuación mediante criterios explícitos y trazables.

A diferencia de un análisis organizado exclusivamente por tipo de infraestructura o ámbito administrativo, el presente capítulo adopta una perspectiva sistémica. Bajo este enfoque, las fuentes de abastecimiento, los sistemas de conducción, los procesos de potabilización, las redes de distribución, el alcantarillado sanitario, la infraestructura pluvial, las plantas de tratamiento, los sistemas electromecánicos, la energía, la información, el territorio y las capacidades institucionales se analizan como componentes interdependientes de un mismo sistema.

Esta perspectiva reconoce que una restricción localizada puede producir efectos sobre diferentes etapas del ciclo urbano del agua. Una reducción en la capacidad de conducción puede afectar la producción; una variación en las características del agua cruda puede incrementar las exigencias de

potabilización; una falla eléctrica o electromecánica puede comprometer la continuidad del servicio; una red deteriorada puede incrementar pérdidas y afectaciones a los usuarios; y la interacción inadecuada entre los sistemas sanitario y pluvial puede aumentar las cargas hidráulicas sobre colectores, cárcamos y plantas de tratamiento.

Por ello, el diagnóstico no se limita a evaluar la existencia, antigüedad o capacidad nominal de la infraestructura. También considera su función dentro del sistema, su estado operativo, sus relaciones de dependencia, la disponibilidad de redundancia, los requerimientos de mantenimiento, el consumo energético, la capacidad de monitoreo, los riesgos asociados a una eventual pérdida de desempeño y las capacidades institucionales necesarias para su gestión durante el ciclo de vida de los activos (ISO, 2024; AWWA, 2012).

Dentro de este análisis adquiere especial relevancia la condición de las redes de agua potable y alcantarillado. Su evaluación deberá considerar el catastro de infraestructura, antigüedad, materiales, historial de fugas y fallas, pérdidas físicas, comportamiento de presiones, continuidad del servicio, criticidad de los tramos y requerimientos de rehabilitación, renovación o modernización. La antigüedad constituye un indicador de alerta, pero no puede utilizarse como único criterio para determinar la sustitución de un activo; debe analizarse conjuntamente con su condición, desempeño y relevancia funcional.

De manera particular, el diagnóstico deberá reconocer que la prestación de los servicios depende también de infraestructura distribuida en todo el territorio, como tanques de regulación y almacenamiento, estaciones de bombeo y rebombeo, válvulas, dispositivos de protección hidráulica, redes de agua potable, redes de alcantarillado y sistemas de medición y control.
Estos activos fueron construidos en diferentes etapas y presentan condiciones distintas de antigüedad, materiales, capacidad, tecnología y mantenimiento. Su evaluación deberá permitir distinguir entre necesidades de conservación,

mantenimiento preventivo o correctivo, rehabilitación, modernización, renovación y, cuando la evidencia lo justifique, sustitución.

La edad de la infraestructura constituye un indicador relevante, pero no determina por sí sola la acción requerida. La toma de decisiones deberá sustentarse en la combinación de condición física y funcional, desempeño, criticidad, historial de fallas, consecuencias de una pérdida de capacidad, disponibilidad de alternativas y costo del ciclo de vida (ISO, 2024; AWWA, 2012).

De manera complementaria, el diagnóstico deberá caracterizar la configuración de los sistemas sanitario y pluvial. En los sectores donde persistan redes combinadas, interconexiones, infiltraciones o aportaciones pluviales al alcantarillado sanitario, será necesario identificar sus efectos sobre la capacidad de conducción, la operación de los cárcamos, el funcionamiento de las plantas de tratamiento, los riesgos de desbordamiento y la calidad de los cuerpos receptores. Este análisis permitirá establecer criterios para avanzar hacia una separación funcional y, donde resulte técnica y territorialmente viable, física de los flujos sanitarios y pluviales.

La operación del sistema también depende de una extensa infraestructura electromecánica y energética. La evaluación institucional desarrollada por el SIAPA identifica instalaciones de bombeo, pozos, cárcamos, plantas potabilizadoras, plantas de tratamiento, sistemas eléctricos, equipos de control y componentes de telemetría cuya condición influye directamente sobre la continuidad, la eficiencia y el costo de los servicios. Este estudio se incorpora como una fuente diagnóstica preliminar; sus inventarios, consumos, estimaciones de ahorro, costos y alternativas tecnológicas deberán conciliarse y validarse antes de su utilización definitiva (SIAPA, s. f.).

Asimismo, la complejidad del sistema hace necesario analizar la disponibilidad, calidad e interoperabilidad de la información operativa. La medición, la macromedición, la instrumentación, la telemetría, el monitoreo en tiempo real,

el análisis histórico y el control operacional integrado constituyen capacidades necesarias para conocer el comportamiento del sistema, anticipar fallas, detectar pérdidas, administrar la energía y respaldar la toma de decisiones.

El diagnóstico también deberá evaluar la capacidad institucional para generar, conservar y aplicar conocimiento especializado. Los documentos del Modelo de Gestión Hídrica para Jalisco y las Jornadas de Gestión Hídrica Metropolitana identifican la necesidad de consolidar una función permanente de investigación aplicada, innovación, formación técnica y gestión del conocimiento. Esta necesidad deberá analizarse en términos de funciones, capacidades, coordinación y sostenibilidad institucional, sin determinar anticipadamente una figura jurídica u organizacional específica.

La evidencia utilizada en este capítulo proviene de estudios, campañas de medición, diagnósticos institucionales, proyectos de ingeniería, registros operativos, investigaciones académicas, instrumentos de planeación y documentos técnicos elaborados en distintos periodos. Debido a que estas fuentes presentan fechas, metodologías, alcances y niveles de madurez diferentes, cada apartado deberá distinguir claramente entre:

- la condición documentada;
- la interpretación técnica derivada de la evidencia;
- los vacíos de información existentes;
- y la implicación que deberá considerar la formulación de los instrumentos de planeación estratégica.

Cuando la información disponible no resulte suficiente para confirmar una condición, ésta no deberá presentarse como un hecho definitivo. La ausencia, desactualización o fragmentación de datos deberá registrarse como una brecha de conocimiento y traducirse en una necesidad de medición, estudio, actualización de catastro o fortalecimiento de los sistemas de información.

En consecuencia, el presente diagnóstico no constituye una clasificación definitiva de proyectos ni una decisión de inversión. Su aportación consiste en identificar restricciones, riesgos, interdependencias, brechas de información y capacidades que deberán ser consideradas durante la posterior evaluación de alternativas y planeación estratégica.

Cuadro 2. Criterios de evaluación técnica para el diagnóstico sistémico y la toma de decisiones Parte 1 de 2

Criterio de evaluación	Alcance del análisis	Utilidad para la toma de decisiones
1. Confiabilidad y continuidad de los servicios	Evalúa la capacidad del sistema para mantener el abastecimiento, la producción, la distribución y el saneamiento bajo condiciones ordinarias, de mantenimiento y de contingencia. Considera márgenes operativos, redundancia, disponibilidad y capacidad de recuperación.	Permite identificar las capacidades necesarias para reducir vulnerabilidades y mantener la continuidad de los servicios.
2. Calidad del agua y protección de la salud pública	Analiza la variabilidad de las fuentes, el desempeño de los procesos de potabilización, el cumplimiento normativo, la calidad del agua distribuida y los riesgos asociados a la prestación del servicio.	Establece los requerimientos que deberán cumplir las alternativas para proteger la salud y responder a la evolución de los estándares de calidad.
3. Condición, criticidad y gestión del ciclo de vida de los activos	Considera antigüedad, materiales, estado físico y funcional, historial de fallas, mantenimiento, vida de servicio, interdependencias y consecuencias de una eventual pérdida de capacidad.	Permite diferenciar necesidades de mantenimiento, rehabilitación, renovación, modernización o transformación estructural.
4. Redes de distribución, pérdidas y desempeño del servicio	Evalúa catastro, fugas, pérdidas físicas, presiones, sectorización, continuidad, materiales, fallas recurrentes, cobertura y capacidad de maniobra de las redes de agua potable.	Sustenta criterios para formular programas progresivos de rehabilitación, renovación y modernización de redes, sin determinar anticipadamente tramos o tecnologías.
5. Alcantarillado sanitario e interacción con el drenaje pluvial	Analiza cobertura, condición de redes y colectores, capacidad hidráulica, interconexiones, infiltraciones, aportaciones pluviales, desbordamientos y relación con las instalaciones de tratamiento.	Permite establecer criterios para avanzar hacia la separación funcional y, cuando sea viable, física de los flujos sanitario y pluvial, así como fortalecer su conducción y tratamiento.

Continúa en la Parte 2 de 2

Cuadro 2. Criterios de evaluación técnica para el diagnóstico sistémico y la toma de decisiones Parte 2 de 2

Criterio de evaluación	Alcance del análisis	Utilidad para la toma de decisiones
6. Eficiencia operativa, energética y financiera	Evalúa desempeño electromecánico, consumo energético, costos de operación, condición de equipos, bombeo, seguridad eléctrica, mantenimiento y costo del ciclo de vida.	Proporciona elementos para comparar alternativas por su eficiencia, confiabilidad y sostenibilidad, además de su capacidad física.
7. Gestión del riesgo, resiliencia y adaptación climática	Analiza exposición a fallas, inundaciones, sequías, interrupciones eléctricas, eventos extremos, vulnerabilidad territorial y capacidad de respuesta y recuperación.	Permite incorporar reducción del riesgo, adaptación y continuidad operativa como criterios para evaluar alternativas.
8. Sostenibilidad ambiental y funcionamiento hidrológico del territorio	Considera cuencas, acuíferos, zonas de recarga, cuerpos receptores, ecosistemas, aguas tratadas, infiltración, regulación de escurrimientos y compatibilidad territorial.	Asegura que las alternativas se evalúen por sus efectos sobre el ciclo integral del agua y no solamente por su rendimiento hidráulico.
9. Información, monitoreo y control operacional	Evalúa disponibilidad y calidad de datos, medición, macromedición, instrumentación, telemetría, interoperabilidad, análisis histórico, supervisión en tiempo real, trazabilidad y ciberseguridad.	Permite identificar las capacidades digitales necesarias para operar, evaluar y actualizar continuamente la toma de decisiones.
10. Gobernanza, investigación y capacidad institucional	Analiza competencias, coordinación, personal especializado, continuidad técnica, mecanismos de participación, investigación aplicada, innovación, capacitación y gestión del conocimiento.	Permite determinar las capacidades institucionales necesarias para formular, implementar, evaluar y actualizar el Plan en el largo plazo.

Nota: Los criterios presentados constituyen dimensiones de análisis para el diagnóstico técnico y sistémico. No representan ponderaciones, calificaciones ni un orden de prioridad entre proyectos o alternativas. Su aplicación deberá ajustarse a la disponibilidad y calidad de la información correspondiente a cada componente. Cuando no exista evidencia suficiente, la brecha de información deberá registrarse expresamente y traducirse en una necesidad de estudio, medición o actualización.

Fuente: Elaboración propia con base en los principios de seguridad hídrica y gestión integrada del agua de UN-Water; gobernanza del agua de la OECD; gestión de activos de ISO 55000:2024; gestión y renovación de infraestructura hídrica de AWWA; normativa aplicable; documentos del Modelo de Gestión Hídrica para Jalisco y las Jornadas de Gestión Hídrica Metropolitana; e información técnica institucional y evaluación preliminar sobre seguridad y eficiencia energética, hídrica y financiera del SIAPA.

Con el propósito de mantener consistencia metodológica, el diagnóstico desarrollado en este capítulo se estructura a partir de los criterios presentados en el Cuadro 2. Su aplicación permite analizar el sistema desde una perspectiva multidimensional y reconocer que una misma restricción puede producir efectos sobre la continuidad, la calidad, la eficiencia, el ambiente, el territorio y la capacidad institucional.

Estos criterios no tienen como finalidad asignar una calificación definitiva ni seleccionar soluciones específicas. Constituyen el marco mediante el cual se organizará la evidencia, se identificarán las restricciones, se registrarán los vacíos de información y se determinarán las capacidades que deberá considerar la formulación de estrategias integrales.

Sobre esta base, los apartados siguientes examinan los principales componentes del sistema hídrico metropolitano, distinguiendo en cada caso la condición documentada, la interpretación técnica, los riesgos asociados y las implicaciones para la posterior evaluación de alternativas.

La cita del estudio de eficiencia debe quedar provisionalmente como (SIAPA, s. f.) hasta confirmar el año oficial y el título que aparecerán en la bibliografía. Las referencias completas se depurarán al final, pero desde este punto conservaremos las citas breves dentro de cada apartado.

Con el propósito de mantener consistencia metodológica, el diagnóstico desarrollado en este capítulo se estructura a partir de los criterios de evaluación técnica presentados en el Cuadro 2. Estos criterios permiten analizar los distintos componentes del sistema hídrico desde una perspectiva común, considerando su confiabilidad, condición, desempeño, criticidad, sostenibilidad, información disponible y capacidad institucional.

Cuadro 2. Criterios de evaluación técnica para el diagnóstico sistémico y la toma de decisiones.

Parte 1 de 2

Criterio de evaluación	Alcance del análisis	Utilidad para la toma de decisiones
1. Confiabilidad y continuidad de los servicios	Evalúa la capacidad del sistema para mantener el abastecimiento, la producción, la regulación, la distribución y el saneamiento bajo condiciones ordinarias, de mantenimiento y de contingencia. Considera márgenes operativos, redundancia, disponibilidad y capacidad de recuperación.	Permite identificar las capacidades necesarias para reducir vulnerabilidades y mantener la continuidad de los servicios.
2. Calidad del agua y protección de la salud pública	Analiza la variabilidad y posible contaminación de las fuentes, el desempeño de los procesos de potabilización, el cumplimiento normativo, la calidad del agua distribuida y los riesgos asociados a la prestación del servicio.	Establece los requerimientos que deberán cumplir las alternativas para proteger la salud pública y responder a la evolución de los estándares de calidad.
3. Condición, criticidad y gestión del ciclo de vida de los activos	Considera antigüedad, materiales, condición física y funcional, integridad estructural, historial de fallas, mantenimiento, vida de servicio e interdependencias de conducciones, plantas, tanques, estaciones de bombeo, redes y demás activos del sistema.	Permite diferenciar necesidades de mantenimiento, rehabilitación, renovación, modernización o evaluación de alternativas estructurales.
4. Infraestructura de regulación, almacenamiento y distribución de agua potable	Evalúa tanques, estaciones de bombeo y rebombeo, válvulas, dispositivos de protección hidráulica, redes primarias y secundarias, presiones, pérdidas físicas, sectorización, continuidad, capacidad de aislamiento, condiciones sanitarias y desempeño operativo.	Sustenta criterios para conservar, mantener, rehabilitar, modernizar o renovar progresivamente la infraestructura mediante la cual se regula, almacena y distribuye el agua potable.
5. Alcantarillado sanitario e interacción con el drenaje pluvial	Analiza antigüedad, materiales, condición física y capacidad hidráulica de las redes y colectores; historial de fallas, obstrucciones, colapsos, infiltraciones, aportaciones pluviales, desbordamientos e interacción con cárcamos y plantas de tratamiento.	Permite establecer criterios para el mantenimiento, rehabilitación y renovación de las redes de alcantarillado, así como para avanzar hacia la separación funcional y, donde resulte viable, física de los flujos sanitario y pluvial.

Continúa en la Parte 2 de 2

Cuadro 2. Criterios de evaluación técnica para el diagnóstico sistémico y la toma de decisiones.

Parte 2 de 2

Criterio de evaluación	Alcance del análisis	Utilidad para la toma de decisiones
6. Eficiencia operativa, energética y financiera	Evalúa desempeño electromecánico, consumo energético, costos de operación, condición de equipos, sistemas de bombeo, seguridad eléctrica, mantenimiento y costo del ciclo de vida.	Proporciona elementos para comparar alternativas por su eficiencia, confiabilidad y sostenibilidad, además de su capacidad física.
7. Gestión del riesgo, resiliencia y adaptación climática	Analiza exposición a fallas, inundaciones, sequías, interrupciones eléctricas, eventos extremos, vulnerabilidad territorial y capacidad de respuesta y recuperación.	Permite incorporar reducción del riesgo, adaptación y continuidad operativa como criterios para evaluar alternativas.
8. Sostenibilidad ambiental y funcionamiento hidrológico del territorio	Considera cuencas, acuíferos, zonas de recarga, cuerpos receptores, ecosistemas, aguas tratadas, infiltración, regulación de escurrimientos y compatibilidad territorial.	Asegura que las alternativas se evalúen por sus efectos sobre el ciclo integral del agua y no solamente por su rendimiento hidráulico.
9. Información, monitoreo y control operacional	Evalúa disponibilidad y calidad de datos, medición, macromedición, instrumentación, telemetría, interoperabilidad, análisis histórico, supervisión en tiempo real, trazabilidad y ciberseguridad.	Permite identificar las capacidades digitales necesarias para conocer, operar, evaluar y actualizar continuamente el sistema.
10. Gobernanza, investigación y capacidad institucional	Analiza competencias, coordinación, personal especializado, continuidad técnica, mecanismos de participación, investigación aplicada, innovación, capacitación y gestión del conocimiento.	Permite determinar las capacidades institucionales necesarias para planear, operar, evaluar y actualizar la gestión hídrica en el largo plazo.

Nota: Los criterios presentados constituyen dimensiones de análisis para el diagnóstico técnico y sistémico. No representan ponderaciones, calificaciones ni un orden de prioridad entre proyectos o alternativas. Su aplicación deberá considerar la condición, desempeño, criticidad, antigüedad, mantenimiento, redundancia y calidad de la información disponible. La edad de la infraestructura constituye un indicador relevante, pero no determina por sí sola su rehabilitación, renovación o sustitución. Cuando no exista evidencia suficiente, la brecha de información deberá registrarse y traducirse en una necesidad de inspección, medición, actualización del catastro o estudio técnico.

Fuente: Elaboración propia con base en los principios de seguridad hídrica y gestión integrada del agua de UN-Water; gobernanza del agua de la OECD; gestión de activos de ISO 55000:2024; gestión y renovación de infraestructura hídrica de AWWA; normativa aplicable; documentación técnica institucional de la Comisión Estatal del Agua de Jalisco y el Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado; y metodología desarrollada para las presentes Bases Técnicas.

Cuando la evidencia disponible resulte insuficiente para confirmar una condición, esta circunstancia deberá registrarse expresamente como una brecha de información y traducirse en una necesidad de inspección, medición, actualización del catastro o estudio técnico.

3.1 Confiabilidad y configuración general del sistema de abastecimiento

La confiabilidad del sistema de abastecimiento constituye una dimensión fundamental de la seguridad hídrica. No se limita a la disponibilidad física del recurso, sino que comprende la capacidad del sistema para suministrar agua en cantidad y calidad suficientes, mantener la continuidad de los servicios y responder adecuadamente ante actividades de mantenimiento, fallas, variaciones en la demanda o condiciones extraordinarias de operación (UN-Water, 2013; ISO, 2024).

En los sistemas metropolitanos de gran escala, la confiabilidad no depende de un solo componente. Es el resultado del funcionamiento coordinado de las fuentes de abastecimiento, los sistemas de conducción, los procesos de potabilización, las estaciones de bombeo y rebombeo, los tanques de regulación y almacenamiento, las válvulas y los dispositivos de protección hidráulica, las redes primarias y secundarias de distribución, la infraestructura eléctrica y electromecánica, los sistemas de medición, telemetría y control, y las capacidades institucionales necesarias para operar, mantener y gestionar el ciclo de vida del conjunto.

Dentro de esta configuración, los tanques, estaciones de bombeo y rebombeo, válvulas, dispositivos de regulación y redes de distribución desempeñan funciones esenciales para compensar las variaciones de la demanda, mantener condiciones adecuadas de presión, almacenar volúmenes operativos, facilitar maniobras y conducir el agua hacia las distintas zonas de servicio. Por ello, su evaluación deberá considerar no sólo su capacidad nominal, sino también su condición estructural, hidráulica, sanitaria, electromecánica y operativa, así como su antigüedad, mantenimiento, instrumentación, redundancia y relevancia para la continuidad del abastecimiento.

Por esta razón, la evaluación de la confiabilidad debe realizarse desde una perspectiva sistémica. El análisis aislado de una instalación puede proporcionar información sobre su condición particular, pero no permite comprender plenamente las consecuencias que una reducción de capacidad, una falla o una interrupción pueden generar sobre los demás componentes y sobre la prestación de los servicios.

La confiabilidad debe analizarse, al menos, a partir de las siguientes dimensiones:

- ✔ disponibilidad y variabilidad de las fuentes;
- ✔ capacidad efectiva de conducción, producción, regulación y distribución;
- ✔ condición y criticidad de los activos;
- ✔ redundancia y flexibilidad operativa;
- ✔ capacidad para realizar mantenimiento sin comprometer la continuidad;
- ✔ seguridad y eficiencia de la infraestructura electromecánica;
- ✔ disponibilidad de medición, telemetría y monitoreo;
- ✔ capacidad de respuesta y recuperación ante contingencias;
- ✔ coordinación técnica e institucional.

La incorporación de la dimensión energética y digital resulta particularmente relevante. La operación del sistema metropolitano depende de un conjunto amplio de instalaciones eléctricas, equipos de bombeo, pozos, cárcamos, plantas potabilizadoras, plantas de tratamiento y sistemas de control. La evaluación institucional preliminar del SIAPA muestra que la continuidad de los servicios está estrechamente vinculada con la seguridad energética, la condición electromecánica y la capacidad de supervisión y control operacional.

Sus inventarios, cifras y propuestas deberán validarse en los apartados correspondientes, pero el estudio aporta evidencia suficiente para considerar estas dimensiones dentro del diagnóstico sistémico (SIAPA, s. f.).

La confiabilidad tampoco debe inferirse exclusivamente a partir de la antigüedad de una instalación. La edad constituye un indicador relevante, pero debe analizarse conjuntamente con el estado físico y funcional, el historial de fallas, los requerimientos de mantenimiento, el nivel de utilización, la disponibilidad de alternativas operativas y las consecuencias que tendría una pérdida parcial o total de capacidad. Este enfoque corresponde a los principios de gestión de activos y evaluación del ciclo de vida de la infraestructura (ISO, 2024; AWWA, 2012).

Como se documentó en el Capítulo I, el sistema de abastecimiento del Área Metropolitana de Guadalajara evolucionó mediante la incorporación progresiva de fuentes, conducciones, plantas, estaciones de bombeo, depósitos y redes desarrollados en distintas etapas históricas. Este crecimiento permitió acompañar la expansión de la ciudad, pero también incrementó las relaciones de dependencia entre sus componentes.

En un sistema interdependiente, una restricción en la conducción puede reducir la capacidad de producción; una variación en la calidad del agua cruda puede modificar los requerimientos de potabilización; una falla eléctrica puede afectar el funcionamiento de una fuente o estación de bombeo; y una deficiencia en la medición puede limitar la capacidad para detectar pérdidas, controlar presiones o evaluar el desempeño operativo.

Por ello, la evaluación del sistema de abastecimiento deberá distinguir entre la disponibilidad del recurso y la capacidad real para captarlo, conducirlo, potabilizarlo, regularlo y distribuirlo de manera continua, eficiente y segura. Contar con una fuente disponible no garantiza por sí mismo la prestación del servicio si alguno de los componentes intermedios presenta restricciones funcionales o carece de márgenes adecuados de respuesta.

El propósito de este apartado no consiste en declarar anticipadamente que una instalación es insuficiente ni en seleccionar una solución específica. Su función

es establecer el marco de análisis mediante el cual se caracterizará la configuración del sistema, se identificarán los factores que condicionan su confiabilidad y se determinará la relevancia funcional de sus componentes.

Los apartados siguientes examinan los principales factores que influyen sobre la confiabilidad, la configuración general del abastecimiento y los criterios que permiten identificar infraestructura de especial relevancia para la continuidad de los servicios. Sus resultados proporcionarán elementos para orientar las decisiones y los instrumentos de planeación que posteriormente se deriven de estas Bases Técnicas.

3.1.1 Principales factores que condicionan la confiabilidad del sistema de abastecimiento

La confiabilidad del sistema de abastecimiento del Área Metropolitana de Guadalajara depende de la interacción entre múltiples factores físicos, hidráulicos, operativos, energéticos, territoriales e institucionales. Ninguno de ellos permite explicar por sí solo el desempeño del sistema; es su combinación la que determina la capacidad para mantener la continuidad, calidad y estabilidad de los servicios bajo condiciones ordinarias, actividades de mantenimiento o contingencias.

Por esta razón, el diagnóstico no debe limitarse a verificar la disponibilidad de agua en las fuentes o la capacidad nominal de la infraestructura. También debe

analizar la capacidad efectiva para captar, conducir, potabilizar, regular y distribuir el recurso, así como las condiciones necesarias para supervisar, conservar y coordinar el funcionamiento del conjunto.
Entre los principales factores que deberán evaluarse se encuentran los siguientes:

Disponibilidad, variabilidad y calidad de las fuentes.

La confiabilidad depende de la disponibilidad efectiva de las fuentes, de su comportamiento hidrológico y de la variación de las características del agua cruda. Los cambios en cantidad o calidad pueden modificar los requerimientos de conducción, bombeo y potabilización, así como los márgenes operativos disponibles para mantener el servicio.

La evaluación deberá distinguir entre el volumen potencialmente disponible, los derechos o asignaciones aplicables, la capacidad real de extracción y conducción, y la aportación efectiva de cada fuente al sistema metropolitano.
Interdependencia y concentración de funciones estratégicas

El sistema opera mediante componentes estrechamente vinculados. Algunas instalaciones concentran funciones cuya disminución o interrupción puede repercutir sobre una parte significativa del abastecimiento, la producción o la distribución.

La importancia de estos componentes no deriva únicamente de su tamaño o capacidad instalada, sino de su función, del número de procesos que dependen de ellos y de las consecuencias que tendría una pérdida parcial o total de su capacidad.

Condición y gestión del ciclo de vida de los activos.

La infraestructura fue desarrollada en distintas etapas históricas y presenta diferencias de antigüedad, materiales, tecnología, estado de conservación y condiciones de operación. Su evaluación debe considerar el estado físico y funcional, el historial de fallas, los requerimientos de mantenimiento, la vida de servicio, el desempeño observado y los costos asociados a su operación durante el ciclo de vida (ISO, 2024; AWWA, 2012).

La antigüedad constituye un indicador relevante, pero no debe utilizarse como único criterio para determinar la rehabilitación, renovación o sustitución de un activo. Una decisión técnicamente sustentada requiere relacionar su condición con la criticidad de la función que desempeña y con las consecuencias de una eventual pérdida de capacidad.

Redundancia, flexibilidad y capacidad de maniobra.

La confiabilidad aumenta cuando el sistema dispone de alternativas para mantener la operación durante actividades de mantenimiento, fallas o variaciones en las condiciones de abastecimiento. La redundancia no implica necesariamente duplicar toda la infraestructura, sino contar con configuraciones que permitan redistribuir caudales, utilizar fuentes complementarias, aislar componentes y recuperar oportunamente el servicio.

La evaluación deberá identificar los componentes que operan sin alternativas funcionales equivalentes, los sectores con márgenes limitados de maniobra y las condiciones necesarias para realizar mantenimiento sin comprometer de manera significativa la continuidad del abastecimiento.

Condición de la infraestructura de regulación, almacenamiento y distribución.

La continuidad del abastecimiento depende no solamente de las líneas principales y de las plantas potabilizadoras, sino también de los tanques,

estaciones de bombeo, válvulas y redes que permiten regular las variaciones de la demanda, mantener presiones, almacenar volúmenes operativos y conducir el agua hacia las distintas zonas de servicio.
Los tanques de regulación y almacenamiento deberán evaluarse conforme a su capacidad nominal y efectiva, tipo estructural, materiales, estado del concreto o acero, fisuras, corrosión, filtraciones, impermeabilización, sedimentación, condiciones sanitarias, historial de limpieza y mantenimiento, funcionamiento de entradas, salidas, rebosaderos y desagües, así como disponibilidad de medición, telemetría y alarmas.

La relevancia de un tanque no depende únicamente de su capacidad. También debe considerarse la zona de servicio que regula, su función dentro del esquema de presiones, la disponibilidad de infraestructura alternativa y las consecuencias que produciría una pérdida parcial o total de operación.

De manera complementaria, las redes deberán analizarse mediante su catastro, materiales, edades, fugas, roturas, reparaciones, presiones, pérdidas físicas, sectorización, continuidad y capacidad de aislamiento. La renovación progresiva deberá sustentarse en la combinación de condición, desempeño, criticidad y costo del ciclo de vida (ISO, 2024; AWWA, 2012)**.**

Este factor será desarrollado específicamente en el apartado dedicado a la evaluación técnica de la infraestructura de regulación, almacenamiento y distribución.

Dependencia energética y desempeño electromecánico.

La captación, conducción, bombeo, potabilización, regulación y distribución dependen de una infraestructura electromecánica extensa y de la disponibilidad continua de energía. Una interrupción eléctrica, una falla en equipos de bombeo o un desempeño energético inadecuado puede reducir la

capacidad disponible, incrementar los costos operativos y limitar la respuesta ante variaciones de la demanda.

La evaluación institucional preliminar del SIAPA reconoce la seguridad energética, la eficiencia de los equipos de bombeo, la condición de las instalaciones eléctricas y la continuidad del suministro como elementos vinculados con la confiabilidad del servicio. Sus inventarios, estimaciones y propuestas tecnológicas deberán conciliarse y validarse antes de ser utilizados como valores definitivos (SIAPA, s. f.).

Medición, telemetría y monitoreo en tiempo real.

La operación confiable requiere información suficiente y oportuna sobre caudales, presiones, niveles, calidad del agua, consumo energético, estado de los equipos y eventos que puedan afectar el funcionamiento del sistema.

La ausencia de medición, la fragmentación de la información o la falta de interoperabilidad entre plataformas reduce la capacidad para detectar pérdidas, anticipar fallas, ajustar la operación y evaluar el desempeño. El estudio institucional de eficiencia señala preliminarmente una cobertura parcial y no estandarizada de telemetría y comunicaciones, y plantea la necesidad de fortalecer la supervisión, el análisis histórico, la trazabilidad y el control remoto de las instalaciones (SIAPA, s. f.).

Por ello, deberá evaluarse la posibilidad de consolidar un sistema integrado de monitoreo y control operacional en tiempo real, con protocolos abiertos, interoperabilidad, propiedad institucional de los datos, redundancia, trazabilidad y medidas adecuadas de ciberseguridad. La definición de su arquitectura y tecnología corresponderá a etapas posteriores de evaluación.

Capacidad institucional y gestión del conocimiento.

La confiabilidad no depende exclusivamente de los activos físicos. También requiere personal especializado, procedimientos actualizados, coordinación entre áreas, continuidad técnica, programas de mantenimiento, capacidad para interpretar la información y mecanismos para transformar el conocimiento en decisiones operativas.

La creciente complejidad del sistema hace necesario fortalecer las funciones permanentes de investigación aplicada, innovación, capacitación y gestión del conocimiento. Los documentos del Modelo de Gestión Hídrica para Jalisco y las Jornadas de Gestión Hídrica Metropolitana identifican la conveniencia de contar con una capacidad especializada en investigación del agua; su configuración institucional deberá analizarse posteriormente conforme a las funciones requeridas, las competencias existentes y su sostenibilidad de largo plazo.

Exposición a contingencias y capacidad de recuperación.

La confiabilidad debe evaluarse también frente a eventos que puedan modificar temporalmente la operación, como fallas de infraestructura, interrupciones eléctricas, variaciones extremas en la calidad del agua cruda, sequías, lluvias intensas, inundaciones, daños territoriales o actividades mayores de mantenimiento.

El análisis deberá considerar no solamente la probabilidad de ocurrencia, sino las consecuencias sobre la población, el tiempo estimado de recuperación, la disponibilidad de rutas alternativas, los protocolos de respuesta y la capacidad institucional para restablecer el servicio.

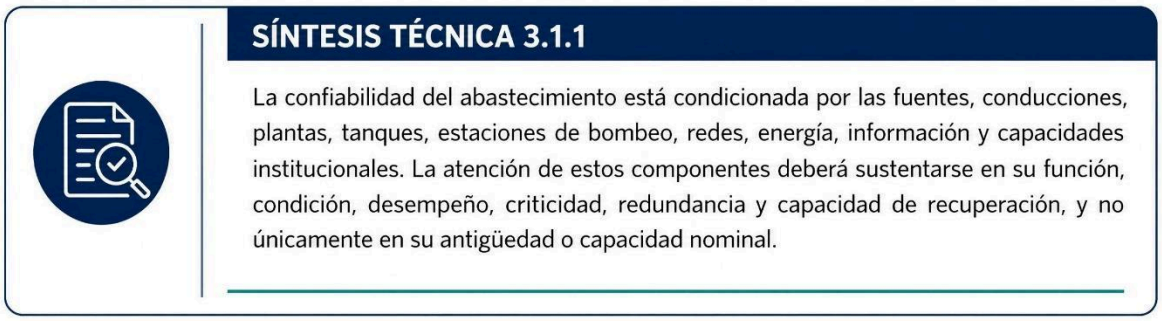
En conjunto, estos factores permiten reconocer que la confiabilidad es una propiedad del sistema y no una condición atribuible exclusivamente a una fuente, conducción, planta o red. Su evaluación debe establecer las relaciones entre los componentes, identificar las combinaciones de alta criticidad y baja

capacidad de respuesta, y registrar los vacíos de información que impiden dimensionar adecuadamente los riesgos.

Implicación para la toma de decisiones.

Las decisiones posteriores deberán concentrarse en las condiciones donde coincidan una alta relevancia funcional, márgenes limitados de redundancia, deterioro o desempeño insuficiente, elevada exposición a contingencias y capacidad restringida de monitoreo o recuperación.

Esta evaluación no determina anticipadamente una solución ni una asignación de recursos. Proporciona los elementos necesarios para diferenciar entre necesidades de mantenimiento, rehabilitación, renovación, modernización, fortalecimiento institucional o análisis de alternativas estructurales.



3.1.2 Configuración general del sistema de abastecimiento

El sistema de abastecimiento del Área Metropolitana de Guadalajara es el resultado de un proceso de desarrollo acumulativo mediante el cual se incorporaron, en distintas etapas históricas, fuentes de suministro, infraestructura de captación y conducción, plantas potabilizadoras, estaciones de bombeo, depósitos de regulación y redes de distribución para responder al crecimiento de la población y a la expansión territorial de la metrópoli.

Su configuración actual integra fuentes superficiales y subterráneas con características hidrológicas, territoriales y operativas diferentes. Estas fuentes no funcionan de manera aislada, sino que se articulan mediante una cadena de procesos que comprende la captación, conducción, bombeo, potabilización, regulación y distribución del agua hacia las zonas atendidas por el sistema metropolitano.

La disponibilidad del recurso en una fuente determinada constituye solamente uno de los componentes del abastecimiento. Para que el agua pueda incorporarse efectivamente al servicio, también se requiere que las conducciones, instalaciones de bombeo, plantas potabilizadoras, depósitos y redes mantengan condiciones adecuadas de operación y funcionen de manera coordinada.

Esta configuración genera una elevada interdependencia funcional. Una variación en la disponibilidad o calidad de una fuente puede modificar las condiciones de conducción y tratamiento; una restricción en una línea principal puede afectar la capacidad de producción; una falla electromecánica o energética puede disminuir temporalmente la disponibilidad de una instalación; y una limitación en las redes de distribución puede impedir que el agua producida llegue a la población con la continuidad y presión requeridas.

Dentro de esta configuración, los tanques de regulación y almacenamiento constituyen elementos funcionales entre la producción y la distribución. Su operación permite compensar variaciones horarias de la demanda, mantener condiciones hidráulicas, apoyar maniobras, proporcionar márgenes operativos y reducir la dependencia de la operación instantánea de las instalaciones de producción y bombeo.

Por ello, su análisis no deberá limitarse a su ubicación o capacidad nominal. Será necesario evaluar su condición estructural, hidráulica y sanitaria, su capacidad

efectiva, nivel de utilización, instrumentación, mantenimiento, redundancia y relevancia dentro de la continuidad del servicio.

Por ello, la evaluación del abastecimiento no debe concentrarse únicamente en los grandes componentes de captación, conducción o potabilización. También deberá considerar las redes primarias y secundarias, los sistemas de bombeo, los elementos de regulación, la infraestructura eléctrica y los mecanismos de medición, telemetría y control operacional que permiten coordinar el funcionamiento del conjunto.

La evaluación preliminar sobre seguridad y eficiencia energética, hídrica y financiera del SIAPA confirma que la operación metropolitana depende de un universo amplio de pozos, plantas de bombeo, cárcamos, plantas potabilizadoras, plantas de tratamiento e instalaciones eléctricas. El mismo documento reconoce que la supervisión operativa, la telemetría, la consolidación de datos y el control remoto constituyen capacidades necesarias para fortalecer la continuidad y la eficiencia de los servicios. Sus cifras y propuestas específicas deberán validarse en el apartado transversal correspondiente.

La configuración del sistema también presenta diferencias territoriales. La ubicación de las fuentes y de la infraestructura de producción, las distancias de conducción, las condiciones topográficas y la distribución de la demanda generan requerimientos distintos de bombeo, regulación y operación entre las diferentes zonas del Área Metropolitana de Guadalajara.

En consecuencia, el análisis de la configuración general debe permitir identificar:

- ✔ las relaciones funcionales entre fuentes, conducciones, plantas y redes;
- ✔ los componentes de los que dependen otros procesos;
- ✔ los sectores con menores alternativas operativas;
- ✔ las condiciones de concentración o diversificación del abastecimiento;

- ✔ las dependencias energéticas, electromecánicas y digitales;
- ✔ y los vacíos de información que limitan la evaluación del sistema.

La representación esquemática de esta configuración se presenta en la Figura 4. Su propósito es facilitar la comprensión de las principales relaciones funcionales del abastecimiento y proporcionar un contexto general para los análisis específicos que se desarrollan posteriormente.

La Figura 4 representa de manera esquemática la relación entre las principales fuentes superficiales, las líneas de conducción, las plantas potabilizadoras, los sistemas de bombeo y la infraestructura metropolitana de distribución. La figura conserva el trazado general de los principales sistemas de abastecimiento, sin pretender sustituir los planos operativos ni representar la totalidad de los componentes existentes.

Figura 4. Configuración general del sistema de abastecimiento del Área Metropolitana de Guadalajara

Nota: Esquema general elaborado para representar la interdependencia funcional entre las principales fuentes, conducciones, plantas potabilizadoras y componentes de bombeo del sistema de abastecimiento del Área Metropolitana de Guadalajara. No constituye un plano operativo detallado ni un inventario exhaustivo de infraestructura.

Fuente: Elaboración propia con base en información técnica institucional de CEA Jalisco, SIAPA y documentación técnica del sistema de abastecimiento del Área Metropolitana de Guadalajara.

La Figura 4 permite observar que el abastecimiento metropolitano depende de la articulación de distintas fuentes e infraestructuras desarrolladas en etapas históricas diferentes. La existencia de múltiples componentes aporta alternativas operativas al sistema; sin embargo, también genera relaciones de dependencia que deben conocerse y evaluarse para determinar su influencia sobre la continuidad del servicio.

La figura no establece por sí misma la criticidad de una fuente, conducción, planta o estación de bombeo. Dicha condición deberá determinarse mediante el análisis de su función, capacidad efectiva, estado operativo, nivel de utilización, redundancia disponible, población atendida y consecuencias asociadas a una eventual pérdida de desempeño.

Cuadro 3. Características generales de la configuración del sistema de abastecimiento del Área Metropolitana de Guadalajara

Característica	Descripción
1. Cobertura territorial	Sistema metropolitano conformado por infraestructura distribuida en distintos municipios, zonas de servicio y niveles topográficos, con condiciones hidráulicas y operativas diferenciadas.
2. Fuentes de abastecimiento	Integra fuentes superficiales y subterráneas con características hidrológicas, de calidad, disponibilidad y operación distintas.
3. Cadena funcional	Comprende captación, conducción, bombeo, potabilización, regulación, almacenamiento y distribución como procesos interdependientes para la prestación del servicio.
4. Infraestructura principal	Incluye conducciones, plantas potabilizadoras, tanques de regulación y almacenamiento, estaciones de bombeo y rebombeo, válvulas, dispositivos de protección hidráulica, redes primarias y secundarias y componentes electromecánicos.
5. Regulación y almacenamiento	Los tanques y depósitos permiten compensar variaciones de la demanda, mantener condiciones hidráulicas, regular presiones, apoyar maniobras y proporcionar capacidad operativa de almacenamiento y reserva.
6. Tipo de operación	Sistema integrado que requiere coordinación permanente entre fuentes, conducciones, plantas, tanques, estaciones de bombeo, redes, zonas de presión y áreas de demanda.
7. Dependencia energética y electromecánica	Una parte relevante de la captación, conducción, bombeo, potabilización, regulación y distribución depende de instalaciones eléctricas, motores, bombas, tableros, sistemas auxiliares y equipos electromecánicos.
8. Información, monitoreo y control	La operación requiere medición, macromedición, instrumentación, telemetría, alarmas, monitoreo en tiempo real, análisis histórico, interoperabilidad y mecanismos integrados de supervisión y control.
9. Principal desafío diagnóstico	Determinar la capacidad efectiva, condición estructural, hidráulica, sanitaria, electromecánica y operativa; la criticidad, redundancia, nivel de utilización y relaciones de dependencia de los componentes que integran el sistema.

Nota: Las características descritas sintetizan la configuración funcional del sistema de abastecimiento y no representan una evaluación definitiva de la condición de sus componentes. Los datos relacionados con capacidad, aportación, antigüedad, desempeño, estado de conservación y nivel de utilización deberán acompañarse de su fuente y fecha de corte. La antigüedad constituye un indicador relevante, pero no determina por sí sola la necesidad de mantenimiento, rehabilitación, modernización, renovación o sustitución.

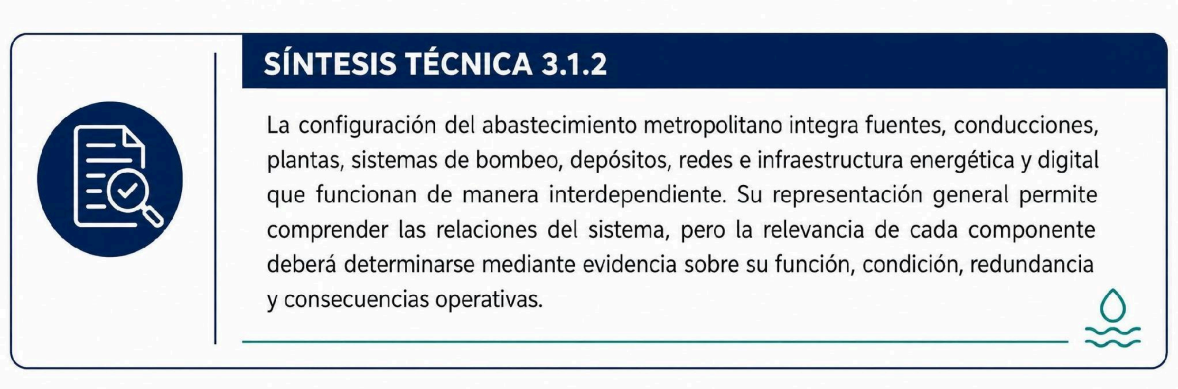
Fuente: Elaboración propia con base en información técnica institucional de la Comisión Estatal del Agua de Jalisco y el Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado; documentación técnica del sistema de abastecimiento del Área Metropolitana de Guadalajara; principios de gestión de activos de ISO 55000:2024; y metodología desarrollada para las presentes Bases Técnicas.

Implicación para la toma de decisiones.

La atención de un componente deberá evaluarse conforme a la combinación de su función, condición, desempeño, criticidad, redundancia, consecuencias operativas y capacidad de recuperación.

La identificación de una alta relevancia funcional no determina por sí misma la solución. Dependiendo del tipo y condición del activo, el análisis podrá derivar en necesidades de mantenimiento, inspección, limpieza y desinfección, rehabilitación estructural o hidráulica, renovación de válvulas y equipos auxiliares, modernización electromecánica y digital, incorporación de redundancia, sustitución o evaluación de alternativas estructurales.

En el caso de los tanques, estaciones de bombeo y redes, las decisiones deberán considerar tanto su condición individual como su función dentro de la regulación, almacenamiento, presión, continuidad y distribución del agua hacia las zonas de servicio.



3.1.3 Identificación de componentes de especial relevancia funcional para la continuidad del abastecimiento

No todos los componentes que integran el sistema de abastecimiento desempeñan la misma función ni generan las mismas consecuencias ante una disminución de su capacidad. Aunque cada fuente, conducción, planta potabilizadora, tanque de regulación o almacenamiento, estación de bombeo o rebombeo, válvula, dispositivo de protección hidráulica, red de distribución o

sistema de medición y control participa en la prestación del servicio, algunos elementos mantienen relaciones de dependencia que influyen de manera significativa sobre el funcionamiento del conjunto.

La relevancia funcional de un componente no debe determinarse exclusivamente por su tamaño, antigüedad, capacidad nominal o costo. Debe evaluarse considerando la función que desempeña dentro del sistema, el número de procesos y territorios que dependen de su operación, la disponibilidad de alternativas funcionales y las consecuencias que tendría una pérdida parcial o total de capacidad.

Este enfoque permite diferenciar entre un activo importante por sus dimensiones físicas y un componente crítico por las consecuencias sistémicas asociadas a su desempeño. Una instalación de gran capacidad puede contar con alternativas operativas suficientes, mientras que un componente de menor escala puede resultar determinante si constituye el único vínculo entre una fuente, una planta o una zona de servicio.

La identificación de estos componentes requiere analizar las relaciones existentes entre captación, conducción, bombeo, potabilización, regulación, almacenamiento y distribución. También debe considerar las válvulas, dispositivos de protección hidráulica, infraestructura electromecánica, sistemas eléctricos, equipos de medición, telemetría y mecanismos de control que permiten operar estos procesos de manera coordinada.

La identificación de estos componentes requiere analizar las relaciones existentes entre captación, conducción, bombeo, potabilización, regulación y distribución. También debe considerar la infraestructura electromecánica, energética, de medición y control que permite operar estos procesos de manera coordinada.

Desde la perspectiva de la gestión de activos, la criticidad resulta de combinar la probabilidad de pérdida de desempeño con las consecuencias que dicha condición tendría sobre la continuidad, la calidad, la seguridad sanitaria, el ambiente, los costos y la capacidad de recuperación del sistema. Por ello, la evaluación deberá integrar información sobre condición física, estructural, hidráulica, sanitaria, funcional, electromecánica y energética, según corresponda al tipo de activo, así como historial de fallas, mantenimiento, redundancia, capacidad de aislamiento, tiempos de recuperación y calidad de la información operativa disponible (ISO, 2024; AWWA, 2012).

La condición de un componente tampoco debe inferirse únicamente a partir de su antigüedad. La edad puede constituir un indicador de alerta, pero deberá contrastarse con inspecciones, mediciones, desempeño observado, frecuencia de fallas, condiciones de mantenimiento y función dentro del sistema. Esta precisión es particularmente relevante para las conducciones, tanques, estaciones de bombeo, válvulas y redes que han operado durante varias décadas y cuya atención deberá sustentarse en evidencia verificable.

En el caso de los tanques de regulación y almacenamiento, la evaluación deberá considerar su capacidad nominal y efectiva, tipo estructural, materiales, estado del concreto o acero, presencia de fisuras, corrosión o filtraciones, condiciones de impermeabilización, sedimentación, limpieza y desinfección, funcionamiento de entradas, salidas, rebosaderos y desagües, así como el estado de válvulas, medidores, sensores, alarmas y sistemas de telemetría. También deberá analizarse la función que desempeñan dentro del esquema de regulación de presiones, la zona atendida, el nivel de utilización y las consecuencias que generaría una pérdida parcial o total de operación.

De manera complementaria, la evaluación deberá considerar la dependencia energética, electromecánica y digital. Una conducción, planta, tanque, estación de bombeo o sector de distribución puede presentar una capacidad limitada cuando depende de equipos con desempeño insuficiente, instalaciones

eléctricas vulnerables, válvulas deterioradas o sistemas incompletos de instrumentación, telemetría y control. El estudio institucional de eficiencia del SIAPA identifica preliminarmente estas dimensiones como factores relacionados con la continuidad, la seguridad y la eficiencia de la operación metropolitana (SIAPA, s. f.).

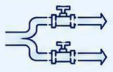
La identificación de componentes de especial relevancia funcional no equivale a determinar anticipadamente su rehabilitación, renovación, ampliación o sustitución. Constituye una etapa diagnóstica que permite reconocer dónde una pérdida de capacidad podría generar mayores consecuencias y qué información adicional se requiere para evaluar las alternativas correspondientes.
En consecuencia, las Bases Técnicas deberán registrar, para cada componente analizado:

- ✔ la función que desempeña dentro del sistema;
- ✔ los procesos, instalaciones, zonas y usuarios que dependen de su operación;
- ✔ su capacidad nominal, efectiva y nivel de utilización;
- ✔ su antigüedad, materiales y vida de servicio estimada;
- ✔ su condición física, estructural, hidráulica, sanitaria, funcional, electromecánica y energética, según corresponda;
- ✔ la existencia y condición de rutas, equipos o componentes alternativos;
- ✔ el historial de fallas, reparaciones, mantenimiento e inspecciones;
- ✔ el historial de limpieza y desinfección, cuando se trate de tanques o infraestructura en contacto con agua potable;
- ✔ la condición de válvulas, dispositivos de protección hidráulica, entradas, salidas, rebosaderos, desagües y componentes auxiliares;
- ✔ la disponibilidad de medición, instrumentación, telemetría, alarmas y control;
- ✔ las consecuencias de una pérdida parcial o total de desempeño;
- ✔ la capacidad de aislamiento, atención y recuperación;
- ✔ y la calidad, fecha de corte y confiabilidad de la evidencia disponible.

Este análisis permitirá distinguir entre necesidades de conservación, mantenimiento preventivo, correctivo o predictivo, rehabilitación estructural o funcional, modernización tecnológica, renovación, sustitución, fortalecimiento de la redundancia, mejora del monitoreo o evaluación de alternativas estructurales, sin anticipar la decisión que posteriormente deba adoptarse.

Cuadro 4. Criterios para identificar componentes de especial relevancia funcional dentro del sistema de abastecimiento

Parte 1 de 2

Criterio	Aspecto por evaluar	Utilidad para la toma de decisiones
1. Función dentro del sistema	Papel del componente en la captación, conducción, bombeo, potabilización, regulación, almacenamiento, distribución, medición o control.	Permite comprender su aportación al funcionamiento integral del abastecimiento.
2. Dependencia funcional	Número de procesos, instalaciones, zonas de servicio y usuarios que dependen directa o indirectamente de su operación.	Identifica componentes cuya pérdida de capacidad puede generar efectos sobre otras etapas o zonas del sistema.
3. Capacidad nominal y efectiva	Diferencia entre la capacidad establecida en el diseño, la capacidad disponible y el desempeño real del componente bajo las condiciones actuales de operación.	Permite evitar evaluaciones sustentadas únicamente en valores nominales o de diseño.
4. Condición física y funcional	Antigüedad, materiales, integridad estructural, estanqueidad, corrosión, fisuras, filtraciones, sedimentación, condiciones sanitarias, desgaste, inspecciones, eficiencia, historial de fallas, limpieza, mantenimiento y desempeño observado, según el tipo de activo.	Sustenta la diferenciación entre conservación, mantenimiento, rehabilitación, modernización, renovación, sustitución o evaluación de alternativas.
 5. Redundancia y flexibilidad operativa	Existencia de rutas, fuentes, equipos, tanques, válvulas, sistemas de bombeo o configuraciones alternativas que permitan mantener el servicio durante fallas, mantenimientos o contingencias.	Permite identificar componentes cuya operación carece de alternativas funcionales equivalentes o presenta márgenes limitados de maniobra.

Continúa en la Parte 2 de 2

Cuadro 4. Criterios para identificar componentes de especial relevancia funcional dentro del sistema de abastecimiento

Parte 2 de 2

Criterio	Aspecto por evaluar	Utilidad para la toma de decisiones
6. Consecuencias de una pérdida de capacidad	Efectos de una disminución parcial o total del desempeño sobre la continuidad, presión, calidad del agua, seguridad sanitaria, población atendida, infraestructura asociada, ambiente y costos operativos.	Ayuda a determinar el nivel de criticidad y la profundidad de los análisis adicionales requeridos.
7. Dependencia energética y electromecánica	Condición y desempeño de bombas, motores, tableros, subestaciones, instalaciones eléctricas, sistemas auxiliares, dispositivos de protección y respaldo energético.	Permite reconocer restricciones energéticas o electromecánicas que pueden limitar la capacidad hidráulica disponible y la continuidad de la operación.
8. Medición, telemetría y control	Disponibilidad y funcionamiento de medidores, macromedidores, sensores, instrumentación, comunicaciones, telemetría, alarmas, supervisión en tiempo real, análisis histórico y trazabilidad.	Determina la capacidad institucional para conocer el desempeño, detectar anomalías, anticipar fallas y controlar la operación.
9. Capacidad de aislamiento y recuperación	Posibilidad de aislar el componente o sector, realizar mantenimiento, activar configuraciones alternas y restablecer el servicio en tiempos técnicamente aceptables.	Permite evaluar la resiliencia operativa y los requerimientos de contingencia, reparación y recuperación del servicio.
10. Calidad y actualidad de la evidencia	Fecha, fuente, cobertura, resolución, consistencia y confiabilidad de los datos utilizados para evaluar el componente, incluyendo inspecciones, catastros, registros de fallas, mediciones y estudios técnicos.	Evita conclusiones definitivas basadas en información incompleta, desactualizada, no verificada o insuficiente para determinar la acción requerida.

Nota: Los criterios no constituyen una calificación automática ni determinan la ejecución de una acción específica. Su aplicación permite identificar componentes que requieren una evaluación más profunda y establecer la información necesaria para comparar alternativas de conservación, mantenimiento, rehabilitación, modernización, renovación, sustitución o transformación funcional. La antigüedad constituye un indicador relevante, pero no determina por sí sola la acción requerida. Las conclusiones deberán sustentarse en la combinación de función, condición, desempeño, criticidad, redundancia, consecuencias operativas y calidad de la evidencia disponible.

Fuente: Elaboración propia con base en los principios de gestión de activos de ISO 55000:2024; gestión, evaluación y renovación de infraestructura hídrica de AWWA; información técnica institucional de la Comisión Estatal del Agua de Jalisco y el Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado; y metodología desarrollada para las presentes Bases Técnicas.

Los criterios descritos en el Cuadro 4 permiten analizar la relevancia funcional de los componentes del sistema sin confundirla con una decisión anticipada de inversión. Su aplicación deberá sustentarse en información verificable y reconocer expresamente los casos donde la evidencia resulte insuficiente.
La identificación de componentes con alta dependencia funcional, escasa redundancia, condición desfavorable o consecuencias significativas ante una pérdida de capacidad permitirá orientar estudios posteriores y fortalecer la trazabilidad de las decisiones que se adopten.

Implicación para la toma de decisiones.

La atención de un componente deberá evaluarse conforme a la combinación de su función, condición, criticidad, redundancia, consecuencias operativas y capacidad de recuperación.

La identificación de una alta relevancia funcional no determina por sí misma la solución. Puede derivar en necesidades distintas, como:

- ✔ mantenimiento especializado;
- ✔ instrumentación y monitoreo;
- ✔ rehabilitación;
- ✔ renovación;
- ✔ modernización electromecánica;
- ✔ incorporación de redundancia;
- ✔ actualización de protocolos de operación;
- ✔ o evaluación de alternativas estructurales.

SÍNTESIS TÉCNICA 3.1.3

La relevancia de un componente del sistema de abastecimiento no depende únicamente de su tamaño, antigüedad o capacidad instalada, sino de la función que desempeña, las dependencias que concentra, la condición estructural, hidráulica, sanitaria, electromecánica y operativa, la redundancia disponible y las consecuencias de una eventual pérdida de capacidad.
La identificación de tanques, estaciones de bombeo, válvulas, redes y demás componentes de especial relevancia permite orientar el diagnóstico y los estudios posteriores, pero no determina anticipadamente su mantenimiento, rehabilitación, modernización, renovación o sustitución.

3.2 Evaluación técnica de la infraestructura de regulación, almacenamiento y distribución de agua potable

La infraestructura mediante la cual se regula, almacena y distribuye el agua potable constituye el vínculo entre el sistema de producción y la prestación efectiva del servicio a la población. Este conjunto incluye tanques de regulación y almacenamiento, estaciones de bombeo y rebombeo, válvulas, dispositivos de protección hidráulica, tuberías primarias y secundarias, conexiones, equipos de medición, sectores hidráulicos y sistemas de monitoreo y control.

Su desempeño influye directamente en la continuidad del servicio, las presiones disponibles, la calidad del agua suministrada, las pérdidas físicas, los costos de operación y la capacidad para responder ante fallas, actividades de mantenimiento o contingencias. Por ello, la existencia de agua disponible en las fuentes y plantas potabilizadoras no garantiza por sí misma su entrega adecuada a los usuarios si la infraestructura de regulación y distribución presenta restricciones físicas, hidráulicas, sanitarias, electromecánicas u operativas.

A diferencia de las grandes obras de captación, conducción y potabilización, esta infraestructura se encuentra distribuida en todo el territorio metropolitano y está integrada por numerosos componentes construidos en distintas etapas y bajo condiciones técnicas diversas. En consecuencia, presenta diferencias de antigüedad, materiales, tecnología, capacidad, estado de conservación, nivel de instrumentación y condiciones de mantenimiento.

El análisis deberá considerar estos activos como parte de un sistema territorial interdependiente. Los tanques permiten compensar variaciones de la demanda, regular presiones, almacenar volúmenes operativos y proporcionar márgenes de maniobra; las estaciones de bombeo y rebombeo permiten trasladar el agua entre diferentes elevaciones y zonas de presión; las válvulas y dispositivos de

protección facilitan la regulación, el aislamiento y la seguridad hidráulica; y las redes permiten conducir finalmente el agua hacia las distintas zonas de servicio. El desempeño de estos componentes determina si los volúmenes producidos pueden entregarse a la población con condiciones adecuadas de continuidad, presión y calidad. Una red puede conservar capacidad hidráulica, pero presentar fallas recurrentes; un tanque puede mantener su integridad estructural, pero disponer de instrumentación insuficiente; una estación de bombeo puede encontrarse operativa, pero presentar baja eficiencia energética; o un sector puede contar con infraestructura físicamente funcional, pero tener limitada capacidad de aislamiento y recuperación ante una contingencia.

Desde la perspectiva de la gestión de activos, las decisiones de mantenimiento, rehabilitación, modernización, renovación o sustitución deberán sustentarse en información sobre condición, desempeño, criticidad, historial de fallas, consecuencias operativas, redundancia, capacidad de recuperación y costo del ciclo de vida. La antigüedad de una tubería, tanque, válvula o equipo constituye un indicador inicial, pero no permite determinar por sí sola la acción requerida ni el momento en que ésta debe realizarse (ISO, 2024; AWWA, 2012).

Desde la perspectiva de la gestión de activos, las decisiones de mantenimiento, rehabilitación, modernización, renovación o sustitución deberán sustentarse en información sobre condición, desempeño, criticidad, historial de fallas, consecuencias operativas, redundancia, capacidad de recuperación y costo del ciclo de vida. La antigüedad de una tubería, tanque, válvula o equipo constituye un indicador inicial, pero no permite determinar por sí sola la acción requerida ni el momento en que ésta debe realizarse (ISO, 2024; AWWA, 2012).

Con base en este enfoque, el apartado siguiente establece el alcance y las dimensiones que deberán considerarse para evaluar integralmente la infraestructura de regulación, almacenamiento y distribución.

3.2.1 Alcance y dimensiones de la evaluación

La evaluación técnica de la infraestructura de regulación, almacenamiento y distribución de agua potable deberá integrar información física, estructural, hidráulica, sanitaria, electromecánica, energética, operativa, comercial, territorial y de calidad del agua. Su propósito no consiste únicamente en estimar cuántos kilómetros de tubería requieren atención, sino en comprender cómo funcionan los tanques, estaciones de bombeo y rebombeo, válvulas, dispositivos de regulación y protección hidráulica, redes y sistemas de monitoreo y control, así como identificar los factores que limitan su contribución a la prestación efectiva del servicio.

El análisis deberá reconocer que estos componentes operan de manera interdependiente. La condición de una tubería influye en las pérdidas y la continuidad; el funcionamiento de un tanque incide en la regulación y estabilidad de las presiones; el desempeño de una estación de bombeo determina la capacidad para trasladar agua entre zonas; y la condición de las válvulas y sistemas de control influye en la posibilidad de aislar sectores, realizar maniobras y responder ante contingencias.

Por ello, la evaluación no deberá concentrarse exclusivamente en la antigüedad o en la capacidad nominal de los activos. Será necesario relacionar su condición, desempeño, función, criticidad, redundancia, historial de fallas, mantenimiento, capacidad de recuperación y costo del ciclo de vida (ISO, 2024; AWWA, 2012).

Catastro y conocimiento de la infraestructura.

La toma de decisiones requiere un catastro georreferenciado, actualizado y verificable que permita conocer qué infraestructura existe, dónde se localiza, cuáles son sus características, qué función desempeña y cómo se relaciona con los demás componentes del sistema.

El catastro deberá comprender, como mínimo:

- ✔ tanques de regulación y almacenamiento;
- ✔ depósitos y estructuras de entrega;
- ✔ estaciones de bombeo y rebombeo;
- ✔ tuberías primarias, secundarias e interconexiones;
- ✔ válvulas de seccionamiento, regulación y control;
- ✔ dispositivos de protección frente a transitorios hidráulicos;
- ✔ conexiones y componentes auxiliares;
- ✔ macromedidores y equipos de medición;
- ✔ sensores de presión, caudal, nivel y calidad;
- ✔ sistemas de telemetría, comunicaciones y alarmas;
- ✔ sectores hidráulicos y zonas de presión;
- ✔ y relaciones con las plantas potabilizadoras y conducciones principales.

Cada activo deberá contar, en la medida de lo posible, con un identificador único que permita relacionar su información física con los planos, sistemas de información geográfica, modelos hidráulicos, registros de operación, órdenes de trabajo, inspecciones, programas de mantenimiento y plataformas de telemetría.

Los registros deberán incluir, según corresponda al tipo de activo:

- ✔ ubicación;
- ✔ material;
- ✔ dimensiones y diámetro;
- ✔ año de construcción;
- ✔ fecha de entrada en operación;
- ✔ capacidad nominal y efectiva;
- ✔ función dentro del sistema;
- ✔ nivel de utilización;
- ✔ historial de fallas;
- ✔ reparaciones e intervenciones realizadas;
- ✔ condición observada;

- ✔ y fecha de la última actualización.

La existencia de un registro no garantiza que la información sea completa o vigente. Por ello, deberá diferenciarse entre:

- ✔ información verificada;
- ✔ información histórica pendiente de confirmación;
- ✔ datos estimados;
- ✔ registros incompletos;
- ✔ y componentes cuya ubicación, condición o función debe verificarse en campo.

Cuando el catastro no coincida con las condiciones reales de operación, esta situación deberá registrarse como una brecha prioritaria de información. No es posible formular programas técnicamente sustentados de mantenimiento, rehabilitación o renovación sin conocer con suficiente precisión la infraestructura existente y su función dentro del sistema.

Tanques de regulación y almacenamiento.

Los tanques desempeñan funciones esenciales para compensar las variaciones horarias de la demanda, regular presiones, almacenar volúmenes operativos, apoyar maniobras y proporcionar márgenes de respuesta frente a cambios en las condiciones de operación.

Su evaluación deberá distinguir entre capacidad nominal, capacidad útil y capacidad efectiva, debido a que la sedimentación, las restricciones hidráulicas, los niveles reales de operación o las condiciones de las entradas y salidas pueden reducir el volumen disponible para la regulación y prestación del servicio.

Para cada tanque deberán analizarse, de acuerdo con la información disponible:

- ✔ tipo estructural y materiales;

- ✔ año de construcción y antecedentes de intervención;
- ✔ capacidad nominal, útil y efectiva;
- ✔ nivel de utilización;
- ✔ función dentro del esquema de regulación y de las zonas de presión;
- ✔ estado del concreto, acero y demás elementos constructivos;
- ✔ presencia de fisuras, corrosión, filtraciones o deformaciones;
- ✔ condición de impermeabilización y recubrimientos;
- ✔ sedimentación;
- ✔ limpieza y desinfección;
- ✔ estanqueidad;
- ✔ protección de accesos y ventilaciones;
- ✔ funcionamiento de entradas, salidas, rebosaderos y desagües;
- ✔ estado de válvulas y componentes auxiliares;
- ✔ sensores de nivel, caudal y calidad;
- ✔ sistemas de telemetría y alarmas;
- ✔ redundancia disponible;
- ✔ y consecuencias de una eventual pérdida parcial o total de capacidad.

La antigüedad de un tanque constituye un indicador relevante, pero no permite concluir por sí misma que el activo requiere sustitución. Un tanque con varias décadas de servicio puede conservar condiciones aceptables mediante mantenimiento y rehabilitación adecuados, mientras que otro de construcción más reciente puede presentar limitaciones estructurales, sanitarias, hidráulicas o de instrumentación.

La evaluación deberá permitir identificar necesidades de limpieza y mantenimiento, rehabilitación estructural o hidráulica, modernización tecnológica, renovación de válvulas y equipos auxiliares o, cuando la evidencia lo justifique, sustitución del activo.

Estaciones de bombeo, rebombeo, válvulas y dispositivos de regulación.

La capacidad para distribuir agua entre diferentes elevaciones, zonas de presión y sectores de servicio depende del funcionamiento de las estaciones de bombeo y rebombeo, los sistemas eléctricos, las válvulas y los dispositivos de protección hidráulica.

La evaluación deberá considerar:

- ✔ capacidad instalada y efectiva;
- ✔ número de equipos y configuración de operación;
- ✔ existencia de equipos de reserva;
- ✔ condición de bombas, motores y acoplamientos;
- ✔ rendimiento hidráulico y eficiencia energética;
- ✔ estado de tableros, transformadores e instalaciones eléctricas;
- ✔ sistemas de arranque, control y protección;
- ✔ respaldo frente a interrupciones eléctricas;
- ✔ válvulas de seccionamiento, retención y regulación;
- ✔ dispositivos de protección frente a golpes de ariete;
- ✔ accesibilidad y capacidad de maniobra;
- ✔ instrumentación y telemetría;
- ✔ historial de fallas y mantenimiento;
- ✔ tiempos de reparación;
- ✔ y consecuencias sobre el servicio ante una pérdida de operación.

Una estación puede encontrarse operativa y, al mismo tiempo, presentar eficiencia reducida, escasa redundancia, equipos con diferentes condiciones de desempeño o capacidad limitada de monitoreo. De la misma forma, una válvula registrada en planos puede no resultar accesible, maniobrable o estanca bajo las condiciones actuales.

La evaluación deberá comprobar la disponibilidad funcional de estos componentes y no limitarse a verificar su existencia física o administrativa.

Condición física, antigüedad e historial de fallas de las redes.

Las redes de agua potable están conformadas por tuberías, juntas, conexiones, válvulas y elementos auxiliares construidos en distintas etapas y con materiales, diámetros y condiciones de operación diversas.

La evaluación de su condición deberá considerar:

- ✔ antigüedad y material;
- ✔ diámetro y función hidráulica;
- ✔ registros de fugas y roturas;
- ✔ reparaciones acumuladas;
- ✔ corrosión e incrustaciones;
- ✔ hundimientos o afectaciones del terreno;
- ✔ fallas en juntas y conexiones;
- ✔ comportamiento de las presiones;
- ✔ pérdidas físicas;
- ✔ afectaciones a la continuidad;
- ✔ costos de reparación;
- ✔ y frecuencia de reincidencia en los mismos sectores.

Una alta cantidad de reportes no implica automáticamente un mayor deterioro, debido a que puede estar influida por la densidad de usuarios, la presión, la visibilidad de las fugas, el número de conexiones o la calidad de los registros. Por ello, los datos deberán normalizarse mediante indicadores comparables, como fallas por kilómetro, material, diámetro, rango de antigüedad o zona de presión.

Distribución de la red por rangos de antigüedad.

La información institucional proporcionada por el SIAPA clasifica 8,601,264 metros lineales, equivalentes a aproximadamente 8,601 kilómetros de redes de agua potable, en diez rangos de antigüedad que comprenden desde

infraestructura de construcción reciente hasta componentes con edades estimadas de entre 84 y 93 años (SIAPA, Mayo 2025).

La mayor proporción individual corresponde al rango de 34 a 43 años, que representa 26.33 % de la longitud reportada. Le siguen los rangos de 24 a 33 años, con 20.19 %, y de 44 a 53 años, con 17.26 %. La agregación de los porcentajes indica que:

- ✔ 66.51 % de la red clasificada tiene 34 años o más;
- ✔ 40.18 % tiene 44 años o más;
- ✔ y 22.92 % tiene 54 años o más.

Estos resultados muestran una presencia significativa de infraestructura con varias décadas de servicio y respaldan la necesidad de fortalecer la inspección, el mantenimiento y la gestión del ciclo de vida. No obstante, la antigüedad no equivale automáticamente a deterioro ni determina por sí misma la sustitución de las tuberías.

Como referencia técnica nacional, el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, en su Libro 4, establece intervalos orientativos de vida útil de 20 a 40 años para las redes de distribución primaria y de 15 a 30 años para las redes de distribución secundaria. El propio manual precisa que estos valores consideran condiciones de buena operación y mantenimiento y suelos no agresivos, y que la duración efectiva también depende de la calidad de la construcción y de los materiales, el diseño, la calidad del agua y las condiciones ambientales (CONAGUA, 2015).

La comparación entre la información del SIAPA y los intervalos del MAPAS permite reconocer que una proporción importante de la infraestructura se encuentra dentro o por encima de dichos valores de referencia. Sin embargo, debido a que la información disponible no distingue en todos los casos entre red primaria y secundaria ni incorpora de manera conjunta materiales, diámetros y condiciones particulares de instalación, no es posible concluir

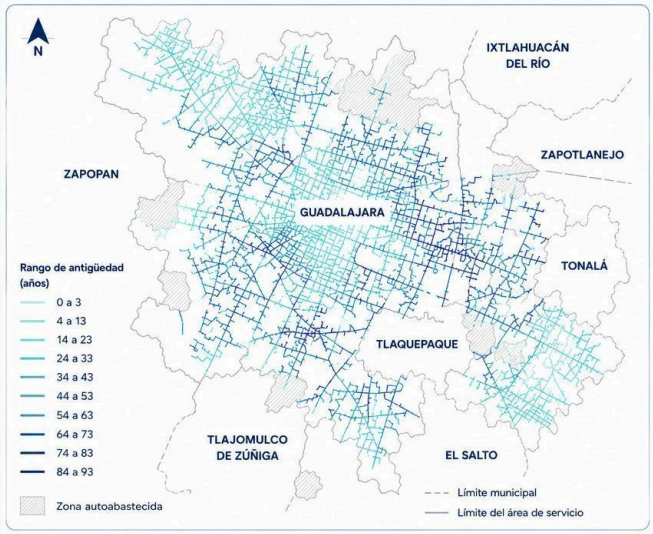
únicamente a partir de la antigüedad que un tramo ha agotado su capacidad de servicio.

Los intervalos del MAPAS deberán utilizarse como un criterio de alerta para orientar la inspección y el análisis de condición, y no como umbrales automáticos de sustitución. La edad deberá cruzarse con:

- ✔ material;
- ✔ diámetro;
- ✔ historial y frecuencia de fallas;
- ✔ fugas y pérdidas;
- ✔ presión de operación;
- ✔ reparaciones acumuladas;
- ✔ condiciones del suelo;
- ✔ criticidad hidráulica;
- ✔ población atendida;
- ✔ capacidad de aislamiento;
- ✔ y consecuencias de una pérdida del servicio.

La distribución territorial permite reconocer sectores donde existen redes con varias décadas de servicio. La representación sugiere una mayor presencia de infraestructura antigua en zonas asociadas con etapas históricas de urbanización, mientras que diversas áreas de expansión presentan redes relativamente más recientes. Esta interpretación deberá corroborarse mediante la base georreferenciada, los registros de materiales, fallas y reparaciones y la fecha de corte de la información.

Figura 5. Distribución espacial de la red de agua potable por rangos de antigüedad



Rango de antigüedad	Longitud (m)	Porcentaje (%)
0 a 3 años	90,375	1.05 %
4 a 13 años	557,241	6.48 %
14 a 23 años	496,843	5.78 %
24 a 33 años	1,736,912	20.19 %
34 a 43 años	2,264,479	26.33 %
44 a 53 años	1,484,174	17.26 %
54 a 63 años	794,773	9.24 %
64 a 73 años	443,173	5.15 %
74 a 83 años	299,304	3.48 %
84 a 93 años	433,990	5.05 %

Longitud total clasificada
8,601,264 m
Aproximadamente **8,601 km** de red

8,601 km
Red de agua potable clasificada

66.51 %
Tiene 34 años o más

40.18 %
Tiene 44 años o más

22.92 %
Tiene 54 años o más

Interpretación técnica
La información muestra una presencia significativa de redes con varias décadas de servicio: 66.51 % de la longitud clasificada tiene 34 años o más. Una parte importante de la infraestructura se ubica, por tanto, dentro o por encima de los intervalos orientativos de vida útil referenciados. Esta condición respalda la necesidad de fortalecer la inspección, el mantenimiento y la gestión del ciclo de vida de la infraestructura. La antigüedad no determina por sí sola el deterioro ni la sustitución de una tubería: deberá analizarse conjuntamente con el material, las fallas, las presiones, las pérdidas, las reparaciones acumuladas y la relevancia funcional de cada tramo.

Referencia técnica nacional
MAPAS–CONAGUA
Vida útil orientativa:
- Red de distribución primaria: 20–40 años
- Red de distribución secundaria: 15–30 años

Estos intervalos constituyen referencias técnicas bajo condiciones de buena operación y mantenimiento y suelos no agresivos. No representan límites automáticos de funcionamiento ni determinan por sí solos la sustitución de la infraestructura.

Nota: La clasificación representa rangos estimados de antigüedad de las redes de agua potable de acuerdo con la información institucional disponible. No constituye una evaluación de condición, criticidad ni necesidad automática de sustitución. Los resultados deberán interpretarse junto con la fecha de corte, la cobertura territorial, los materiales, los diámetros, los registros de fallas y las condiciones reales de operación.

Fecha de corte de la información: Mayo 2026

Fuente: Elaboración propia con base en información técnica institucional proporcionada por el Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado —SIAPA—.

La figura permite orientar inicialmente la verificación diagnóstica, pero no sustituye las inspecciones, las mediciones ni la evaluación del desempeño de cada tramo o sector.

Comportamiento hidráulico y presiones.

La evaluación deberá analizar presiones mínimas, máximas y variaciones horarias, así como la capacidad de la infraestructura para responder a los patrones actuales de demanda.

Las presiones excesivas pueden incrementar las fugas, las roturas, el desgaste de válvulas y el consumo energético. Por su parte, las presiones insuficientes pueden reducir la continuidad y limitar la entrega del servicio en determinadas zonas.

La evaluación deberá considerar:

- ✔ zonas de presión;
- ✔ niveles operativos de los tanques;
- ✔ cargas hidráulicas disponibles;
- ✔ operación de bombeos y rebombeos;
- ✔ válvulas de regulación;
- ✔ variaciones horarias;
- ✔ condiciones máximas y mínimas;
- ✔ y comportamiento durante maniobras o contingencias.

La modelación hidráulica deberá calibrarse mediante mediciones de campo. Un modelo desactualizado o alimentado con información incompleta puede producir conclusiones que no correspondan con la operación real.

Continuidad del servicio

La continuidad deberá analizarse por sector y no solamente mediante promedios generales. Será necesario identificar zonas con:

- ✔ interrupciones recurrentes;
- ✔ horarios restringidos;
- ✔ variaciones significativas de presión;
- ✔ dependencia de maniobras frecuentes;
- ✔ baja capacidad de almacenamiento;
- ✔ escasas rutas alternativas;
- ✔ o tiempos prolongados de recuperación.

Las interrupciones y reducciones de presión también deberán analizarse desde la perspectiva sanitaria, debido a que pueden favorecer el ingreso de contaminantes cuando existen defectos físicos, conexiones irregulares o condiciones externas adversas (WHO, 2022).

La evaluación deberá relacionar la continuidad con la operación de tanques, estaciones de bombeo, válvulas, zonas de presión y sectores hidráulicos, evitando atribuirla exclusivamente a la disponibilidad de agua en las fuentes.

Pérdidas de agua y balance hídrico.

La evaluación deberá distinguir entre:

- ✔ pérdidas físicas;
- ✔ pérdidas aparentes;
- ✔ consumos autorizados no facturados;
- ✔ y errores de medición o registro.

El porcentaje general de agua no contabilizada no es suficiente para determinar dónde se producen las pérdidas ni qué acción resulta técnicamente apropiada. Se requiere un balance hídrico construido con criterios homogéneos, acompañado de macromedición, micromedición, estimación de errores y análisis de consumos (Alegre et al., 2016).

Las pérdidas físicas deberán analizarse territorialmente y relacionarse con presiones, materiales, antigüedad, roturas, conexiones y tiempos de reparación. Las pérdidas aparentes deberán examinarse mediante la calidad de la medición, la actualización de padrones, los errores de lectura y los consumos no registrados.

Los indicadores deberán permitir comparar sectores y observar tendencias en el tiempo, evitando utilizar un valor agregado como único criterio para definir acciones.

Sectorización y capacidad de aislamiento.

La sectorización hidráulica permite conocer los caudales y presiones de áreas delimitadas, identificar anomalías, controlar pérdidas y reducir la superficie afectada durante las reparaciones.

La evaluación deberá considerar:

- ✔ delimitación real de los sectores;
- ✔ configuración y estado de las válvulas;
- ✔ interconexiones;
- ✔ macromedición de entradas y salidas;
- ✔ estabilidad de las presiones;
- ✔ correspondencia con las zonas de servicio;
- ✔ y capacidad para realizar maniobras sin generar afectaciones no previstas.

La existencia nominal de sectores no garantiza que éstos funcionen como unidades hidráulicamente aisladas. Será necesario comprobar su operación mediante pruebas, mediciones y actualización de los modelos.

La capacidad de aislamiento también deberá evaluarse en tanques, estaciones de bombeo y líneas principales, con el fin de determinar si las actividades de mantenimiento pueden realizarse sin comprometer de manera significativa la continuidad del servicio.

Calidad del agua en tanques y redes.

La calidad del agua puede modificarse después de la potabilización como consecuencia del almacenamiento, el tiempo de residencia, las variaciones de presión, la presencia de sedimentos, la corrosión, las conexiones irregulares, las filtraciones o el deterioro de los componentes.

La evaluación deberá integrar:

- ✔ resultados de muestreo;
- ✔ comportamiento del desinfectante residual;
- ✔ zonas con baja renovación;
- ✔ tiempos de residencia;
- ✔ condiciones de limpieza y desinfección de tanques;
- ✔ protección de accesos y ventilaciones;
- ✔ funcionamiento de rebosaderos y desagües;
- ✔ presencia de sedimentos;
- ✔ incidencias recurrentes;
- ✔ y correspondencia con los criterios normativos aplicables (Secretaría de Salud, 2022; WHO, 2022).

La calidad no deberá evaluarse exclusivamente a la salida de las plantas potabilizadoras. Será necesario analizar su conservación durante el almacenamiento, la regulación y la distribución hasta los puntos de entrega.

Operación, mantenimiento y tiempos de respuesta.

La confiabilidad depende de la capacidad institucional para detectar, aislar, atender, reparar y restablecer el servicio.

El análisis deberá considerar:

- ✔ mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo;
- ✔ inspecciones de tanques y estructuras;
- ✔ limpieza y desinfección;
- ✔ mantenimiento de bombas y motores;
- ✔ revisión y maniobra de válvulas;
- ✔ conservación de recubrimientos e impermeabilizaciones;
- ✔ calibración de instrumentos;
- ✔ disponibilidad de materiales y equipos;
- ✔ personal especializado;
- ✔ tiempos de atención;

- ✔ tiempos de reparación;
- ✔ restablecimiento del servicio;
- ✔ y coordinación entre áreas.

El mantenimiento correctivo resulta indispensable para atender fallas; sin embargo, cuando los recursos se concentran reiteradamente en los mismos componentes o sectores, puede existir evidencia de que las acciones correctivas han dejado de ser suficientes y de que deben compararse alternativas de rehabilitación, modernización o renovación.

Los registros de mantenimiento deberán vincularse con el catastro para identificar tendencias, reincidencias, costos acumulados y activos que requieren una evaluación más profunda.

Medición, telemetría y control operacional.

La macromedición, los sensores de presión, los medidores de nivel y caudal, las alarmas, la telemetría y el análisis en tiempo real permiten conocer el comportamiento de la infraestructura, detectar cambios, identificar posibles fugas y evaluar el efecto de las maniobras.

El diagnóstico deberá determinar:

- ✔ cobertura de la instrumentación;
- ✔ estado y precisión de los equipos;
- ✔ frecuencia de transmisión;
- ✔ continuidad de las comunicaciones;
- ✔ interoperabilidad;
- ✔ disponibilidad de registros históricos;
- ✔ integración con modelos hidráulicos;
- ✔ alarmas y protocolos de respuesta;
- ✔ posibilidad de control remoto;
- ✔ y calidad y propiedad institucional de los datos.

La existencia de sensores no garantiza que la información se utilice efectivamente. Será necesario analizar si los datos se integran a los procesos de operación, mantenimiento, gestión energética, detección de pérdidas y toma de decisiones. Los sistemas deberán evaluarse bajo principios de interoperabilidad, trazabilidad, seguridad de la información y capacidad de actualización tecnológica.

Impacto territorial y social.

Una misma falla puede producir consecuencias distintas dependiendo de:

- ✔ número de usuarios afectados;
- ✔ duración de la interrupción;
- ✔ características de la zona;
- ✔ presencia de hospitales, escuelas o instalaciones de emergencia;
- ✔ actividades económicas dependientes del servicio;
- ✔ condiciones de vulnerabilidad social;
- ✔ y disponibilidad de alternativas de suministro.

Este criterio permitirá incorporar la dimensión territorial y social sin sustituir la evaluación física e hidráulica de la infraestructura. La criticidad deberá relacionar la probabilidad de pérdida de desempeño con las consecuencias sobre la población y el funcionamiento de los servicios esenciales. Un componente de pequeña dimensión puede resultar altamente relevante cuando atiende una instalación indispensable o una zona sin alternativas de suministro.

Integración de la evaluación.

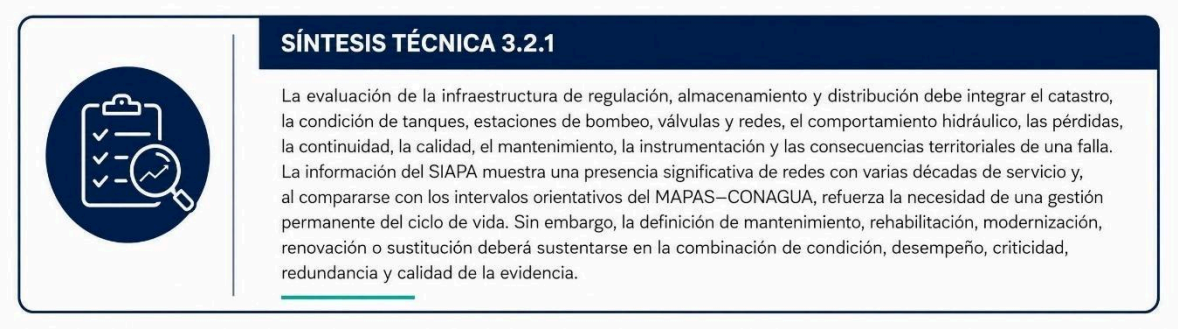
Las dimensiones anteriores deberán analizarse de manera conjunta. Una condición desfavorable no determina automáticamente la acción requerida, del mismo modo que la ausencia de fallas visibles no garantiza que un activo conserve plenamente su capacidad de servicio.

La evaluación deberá distinguir entre:

- ✔ condición documentada;
- ✔ desempeño observado;
- ✔ interpretación técnica;
- ✔ nivel de criticidad;
- ✔ vacíos de información;
- ✔ y necesidad de estudios o acciones posteriores.

Cuando la información sobre antigüedad, materiales, condición, capacidad, mantenimiento, fallas o desempeño resulte incompleta, esta circunstancia deberá registrarse como una brecha de conocimiento y traducirse en necesidades de actualización del catastro, inspección, medición, instrumentación o estudio técnico.

La información pública deberá presentarse mediante resultados agregados y mapas generales. Los datos operativos detallados, coordenadas, accesos, configuraciones de control y vulnerabilidades específicas deberán mantenerse bajo los mecanismos institucionales correspondientes para la protección de infraestructura crítica.



3.2.2 Criterios para determinar necesidades de mantenimiento, rehabilitación, modernización, renovación o sustitución

La determinación de las necesidades de atención de la infraestructura de regulación, almacenamiento y distribución de agua potable deberá sustentarse en la combinación de evidencia técnica y no en un solo indicador. La antigüedad, la frecuencia de fallas, la capacidad nominal o el costo de las reparaciones constituyen elementos relevantes, pero no permiten establecer de manera aislada si un tanque, una estación de bombeo, una válvula, un dispositivo de regulación o un tramo de red requiere mantenimiento, rehabilitación, modernización, renovación o sustitución.

Desde la perspectiva de la gestión de activos, la decisión deberá considerar el valor que cada componente aporta al sistema, su condición física y funcional, el desempeño observado, las consecuencias asociadas a una eventual pérdida de capacidad, la redundancia disponible y los costos y riesgos correspondientes a las distintas alternativas durante su ciclo de vida (ISO, 2024; AWWA, 2012).

Este enfoque reconoce que dos activos con antigüedad similar pueden requerir acciones diferentes. Un componente puede conservar condiciones aceptables de operación mediante mantenimiento programado, mientras que otro puede presentar fallas recurrentes, pérdida de capacidad, baja eficiencia, restricciones sanitarias o consecuencias operativas que justifiquen una intervención de mayor alcance.

Criterios generales de evaluación.

La acción requerida deberá determinarse mediante el análisis integrado de los siguientes elementos:

- ✔ antigüedad, materiales y vida de servicio estimada;
- ✔ función que desempeña el activo dentro del sistema;

- ✔ capacidad nominal, útil y efectiva;
- ✔ nivel de utilización;
- ✔ condición física, estructural, hidráulica, sanitaria, electromecánica y operativa;
- ✔ frecuencia, localización y tendencia de fallas;
- ✔ historial de reparaciones, mantenimiento e intervenciones previas;
- ✔ comportamiento de presiones, caudales y niveles;
- ✔ pérdidas físicas asociadas;
- ✔ afectaciones a la continuidad y a la calidad del agua;
- ✔ consumo y eficiencia energética;
- ✔ posibilidad de aislamiento y maniobra;
- ✔ existencia de equipos, rutas o configuraciones alternativas;
- ✔ disponibilidad de instrumentación, telemetría, alarmas y control;
- ✔ población, territorio e instalaciones esenciales atendidas;
- ✔ consecuencias sanitarias, ambientales, sociales y económicas de una falla;
- ✔ costos acumulados de operación y reparación;
- ✔ interferencias con otras infraestructuras;
- ✔ tiempo y recursos necesarios para recuperar el servicio;
- ✔ y disponibilidad, calidad, cobertura y fecha de corte de la información.

La evaluación deberá registrar expresamente cuándo alguno de estos elementos no se encuentre disponible. La falta de información no deberá sustituirse por supuestos presentados como hechos; deberá traducirse en necesidades de inspección, medición, instrumentación, actualización del catastro o estudio técnico.

Aplicación a las redes de distribución.

En las redes de agua potable, la evaluación deberá relacionar la antigüedad con el material, diámetro, presión de operación, historial de fugas y roturas,

reparaciones acumuladas, pérdidas físicas, continuidad del servicio, capacidad de aislamiento y relevancia hidráulica de cada tramo o sector.

La información proporcionada por el SIAPA muestra una presencia significativa de redes con varias décadas de servicio y constituye evidencia suficiente para reconocer la necesidad de fortalecer la gestión de su ciclo de vida (SIAPA, s. f.).

Sin embargo, la clasificación por edades no permite determinar automáticamente qué tuberías deben sustituirse.

Los intervalos orientativos de vida útil establecidos por el MAPAS —de 20 a 40 años para redes primarias y de 15 a 30 años para redes secundarias— deberán utilizarse como referencias para orientar la inspección y el análisis de condición, considerando que la duración efectiva depende también de los materiales, la calidad de la instalación, las condiciones del suelo, el régimen de presiones, la calidad del agua y las prácticas de operación y mantenimiento (CONAGUA, 2015).

La necesidad de rehabilitar, renovar o sustituir un tramo deberá analizarse con mayor profundidad cuando coincidan varias de las siguientes condiciones:

- ✔ antigüedad dentro o por encima de los intervalos técnicos de referencia;
- ✔ fallas recurrentes o tendencia creciente de roturas;
- ✔ pérdidas físicas significativas;
- ✔ material susceptible a deterioro bajo las condiciones existentes;
- ✔ presiones excesivas o inestables;
- ✔ reparaciones repetidas sobre el mismo tramo;
- ✔ afectaciones frecuentes a la continuidad;
- ✔ imposibilidad de aislar el sector de manera adecuada;
- ✔ elevados costos acumulados de reparación;
- ✔ y consecuencias importantes para la población o los servicios esenciales.

La presencia de una sola condición no determinará automáticamente la sustitución. La decisión deberá sustentarse en su combinación y en la comparación técnica y económica de las alternativas disponibles.

Aplicación a los tanques de regulación y almacenamiento.

Para los tanques, la acción requerida deberá determinarse considerando:

- ✔ integridad estructural;
- ✔ estanqueidad;
- ✔ fisuras, corrosión, filtraciones y deformaciones;
- ✔ capacidad nominal, útil y efectiva;
- ✔ nivel de utilización;
- ✔ sedimentación;
- ✔ condiciones de impermeabilización y recubrimientos;
- ✔ estado sanitario;
- ✔ frecuencia de limpieza y desinfección;
- ✔ funcionamiento de entradas, salidas, rebosaderos y desagües;
- ✔ condición de válvulas y elementos auxiliares;
- ✔ instrumentación, telemetría y alarmas;
- ✔ función dentro de la regulación de presiones;
- ✔ zona de servicio atendida;
- ✔ redundancia disponible;
- ✔ y consecuencias de una pérdida parcial o total de capacidad.

Un tanque podrá conservarse mediante mantenimiento cuando mantenga condiciones estructurales, hidráulicas y sanitarias adecuadas. La rehabilitación será procedente cuando sea posible recuperar su integridad o desempeño sin sustituir el activo completo. La modernización corresponderá a la incorporación de instrumentación, automatización, telemetría, sistemas de seguridad o mejoras operativas.

La renovación o sustitución deberá evaluarse cuando la pérdida de integridad, capacidad o funcionalidad, combinada con su criticidad y el costo del ciclo de vida, indique que las acciones de mantenimiento o rehabilitación ya no resultan suficientes.

Aplicación a las estaciones de bombeo y rebombeo.

En las estaciones de bombeo y rebombeo deberán analizarse:

- ✔ condición de bombas, motores y acoplamientos;
- ✔ capacidad instalada y efectiva;
- ✔ punto real de operación;
- ✔ eficiencia hidráulica y energética;
- ✔ estado de tableros, transformadores e instalaciones eléctricas;
- ✔ disponibilidad de equipos de reserva;
- ✔ historial de fallas y mantenimiento;
- ✔ vibraciones, temperatura y desgaste;
- ✔ sistemas de arranque, protección y control;
- ✔ disponibilidad de respaldo eléctrico;
- ✔ instrumentación y telemetría;
- ✔ y consecuencias de una interrupción.

El mantenimiento deberá orientarse a conservar el desempeño de equipos funcionales. La rehabilitación podrá incluir la recuperación de componentes o el reequipamiento cuando resulte técnicamente viable. La modernización podrá incorporar equipos de mayor eficiencia, variadores de frecuencia, protección eléctrica, automatización, sensores y control remoto.

La sustitución deberá analizarse cuando la condición del equipo, la pérdida de eficiencia, la indisponibilidad de componentes, la frecuencia de fallas o el costo acumulado de conservación hagan insuficientes las acciones anteriores.

La evaluación preliminar sobre seguridad y eficiencia energética, hídrica y financiera del SIAPA constituye un antecedente relevante para identificar necesidades de revisión electromecánica, energética y de control, aunque sus inventarios, costos y estimaciones específicas deberán validarse antes de utilizarse como resultados definitivos (SIAPA, s. f.).

Aplicación a válvulas y dispositivos de regulación y protección.

Las válvulas y dispositivos auxiliares deberán evaluarse conforme a:

- ✔ localización y accesibilidad;
- ✔ identificación dentro del catastro;
- ✔ condición física;
- ✔ estanqueidad;
- ✔ capacidad de maniobra;
- ✔ frecuencia de operación;
- ✔ corrosión o bloqueo;
- ✔ correspondencia entre planos y ubicación real;
- ✔ función de seccionamiento o regulación;
- ✔ capacidad para aislar tramos o sectores;
- ✔ automatización;
- ✔ e integración con sistemas de control.

Una válvula que existe en los planos, pero que no puede localizarse, maniobrarse o cerrar adecuadamente, no deberá considerarse funcionalmente disponible.

Los dispositivos de protección hidráulica deberán evaluarse según su capacidad para responder a transitorios, variaciones de presión y condiciones extraordinarias de operación. Su atención podrá comprender mantenimiento, calibración, rehabilitación, renovación, automatización o incorporación de nuevos mecanismos de protección, conforme a los resultados del análisis hidráulico.

Aplicación a la instrumentación, telemetría y control.

Los sistemas de medición y control deberán analizarse como activos integrantes de la infraestructura y no como elementos accesorios. Su evaluación deberá considerar:

- ✔ cobertura;
- ✔ precisión;
- ✔ confiabilidad;
- ✔ continuidad de las comunicaciones;
- ✔ frecuencia de transmisión;
- ✔ interoperabilidad;
- ✔ registros históricos;
- ✔ alarmas;
- ✔ trazabilidad;
- ✔ control remoto;
- ✔ propiedad institucional de la información;
- ✔ ciberseguridad;
- ✔ y capacidad de actualización tecnológica.

La modernización será necesaria cuando los equipos existentes no permitan conocer adecuadamente el comportamiento del sistema, detectar anomalías, controlar presiones, administrar la energía o apoyar oportunamente la respuesta ante fallas.

La ausencia de telemetría no determina por sí misma la sustitución de la infraestructura física, pero puede justificar la incorporación de instrumentación y sistemas de control que incrementen su confiabilidad y capacidad operativa.
Clasificación de las necesidades de atención.

Para efectos de estas Bases Técnicas, las necesidades deberán clasificarse de la siguiente manera:

1. Conservación y mantenimiento. Acciones orientadas a preservar el desempeño y reducir la probabilidad de fallas sin modificar

sustancialmente la configuración del activo. Comprenden inspección, limpieza, desinfección, lubricación, calibración, reparación menor, mantenimiento de recubrimientos y atención preventiva o correctiva de componentes.

2. Rehabilitación. Intervenciones dirigidas a recuperar la capacidad, integridad o desempeño de un activo que conserva su función principal. Puede incluir reparaciones estructurales, recuperación de impermeabilización, rehabilitación de tuberías, reparación de equipos, renovación de componentes auxiliares o recuperación de condiciones hidráulicas.
3. Modernización. Incorporación de equipos, tecnologías, sistemas de control o mejoras funcionales que incrementan la eficiencia, seguridad, capacidad de monitoreo, confiabilidad o adaptación del activo a las condiciones actuales de operación.
4. Renovación. Intervención integral sobre un activo o conjunto de componentes destinada a restablecer o prolongar su capacidad de servicio. Puede comprender sustitución parcial, rehabilitación profunda, actualización de componentes y modificación de la configuración existente.
5. Sustitución. Reemplazo total de un activo cuando su condición, desempeño, criticidad, riesgo o costo del ciclo de vida muestran que su conservación, rehabilitación o modernización ya no resultan técnica o económicamente suficientes.
6. Reconfiguración hidráulica. Modificación de la configuración del sistema cuando las restricciones no dependen exclusivamente de la condición individual de los activos, sino de la organización de zonas de presión, sectores, interconexiones, almacenamiento, bombeo, redundancia o capacidad de aislamiento.
7. Comparación de alternativas mediante el ciclo de vida. La selección entre mantenimiento, rehabilitación, modernización, renovación o sustitución deberá considerar no solamente el costo inicial de cada alternativa, sino también:

- ✔ costos futuros de operación;
- ✔ consumo energético;
- ✔ mantenimiento esperado;
- ✔ frecuencia probable de fallas;
- ✔ vida de servicio adicional;
- ✔ interrupciones necesarias para su ejecución;
- ✔ riesgos sanitarios y operativos;
- ✔ beneficios sobre la continuidad y eficiencia;
- ✔ capacidad de adaptación;
- ✔ y valor residual del activo.

Este análisis permitirá evitar tanto la sustitución prematura de infraestructura que todavía puede prestar servicio como la prolongación excesiva de activos cuyo mantenimiento acumulado genera mayores costos y riesgos que una intervención de mayor alcance (ISO, 2024; AWWA, 2012).

Implicación para la toma de decisiones.

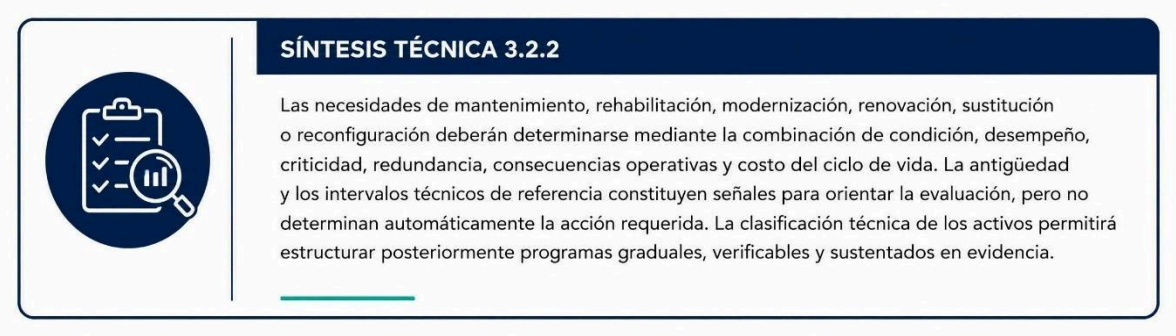
El diagnóstico deberá conducir a una clasificación técnica de los activos y sectores que permita distinguir entre:

- ✔ infraestructura que puede conservarse mediante mantenimiento programado;
- ✔ componentes que requieren inspección, instrumentación o información adicional;
- ✔ tanques susceptibles de rehabilitación estructural, hidráulica o sanitaria;
- ✔ estaciones de bombeo que requieren rehabilitación o modernización electromecánica;
- ✔ válvulas y dispositivos que requieren mantenimiento, renovación o automatización;
- ✔ tramos de red con necesidad de rehabilitación o renovación;
- ✔ zonas donde debe fortalecerse la regulación de presiones;
- ✔ áreas que requieren sectorización, macromedición o telemetría;
- ✔ componentes cuya sustitución debe ser evaluada;

- ✔ y sectores donde resulte necesario analizar una reconfiguración hidráulica.

Esta clasificación no constituye un programa de obras ni una selección anticipada de proyectos. Proporciona la base técnica para estructurar posteriormente programas plurianuales de atención, definir metas verificables, estimar requerimientos presupuestales y asignar recursos conforme a la condición, desempeño, riesgo y criticidad de la infraestructura.

La programación posterior deberá mantener trazabilidad entre la evidencia disponible, la condición identificada, la acción recomendada y el resultado esperado. Asimismo, deberá establecer indicadores que permitan verificar si las intervenciones efectivamente mejoran la continuidad, la presión, la calidad, la eficiencia, la capacidad de aislamiento y la confiabilidad del servicio.



3.3 Evaluación técnica del sistema de conducción Chapala–Guadalajara

El sistema de conducción Chapala–Guadalajara constituye uno de los principales vínculos entre el Lago de Chapala y la infraestructura metropolitana de producción de agua potable. Su función consiste en transportar agua superficial desde la fuente hasta las instalaciones de bombeo y potabilización que permiten incorporarla al sistema de abastecimiento del Área Metropolitana de Guadalajara.

La relevancia de este componente no deriva únicamente del volumen que puede transportar. También responde a su relación funcional con las plantas

potabilizadoras, estaciones de bombeo, tanques, redes de distribución y demás instalaciones que dependen de la continuidad del suministro proveniente del Lago de Chapala.

En un sistema interdependiente, una restricción en la conducción puede repercutir sobre la capacidad de producción, los niveles de almacenamiento, la operación de los bombeos, las presiones de distribución y la continuidad del servicio. Por esta razón, la evaluación no deberá limitarse a verificar si la infraestructura permanece en funcionamiento, sino determinar bajo qué condiciones opera, cuáles son sus márgenes de maniobra y qué capacidad tiene el sistema para responder durante actividades de mantenimiento, fallas o contingencias.

Desde la perspectiva de la gestión de activos, la confiabilidad de una conducción depende de la combinación de su condición física, capacidad hidráulica efectiva, redundancia, instrumentación, mantenimiento, dependencia energética, relevancia funcional y consecuencias asociadas a una pérdida parcial o total de capacidad (ISO, 2024; AWWA, 2012).

La evaluación también deberá diferenciar entre el sistema histórico de conducción superficial y el Acueducto Chapala–Guadalajara desarrollado posteriormente. Ambos forman parte de la evolución del abastecimiento metropolitano, pero presentan características técnicas, condiciones de operación, funciones y requerimientos de gestión distintos.

El propósito de este apartado es integrar y examinar la evidencia técnica disponible para:

- ✔ reconstruir la evolución del sistema de conducción;
- ✔ identificar los criterios bajo los cuales fue concebido;
- ✔ conocer las condiciones documentadas de operación;
- ✔ analizar su capacidad, redundancia, mantenimiento e instrumentación;
- ✔ registrar los riesgos y relaciones de dependencia;

- ✔ distinguir entre hechos documentados, estimaciones y conclusiones de estudios previos;
- ✔ y establecer los elementos que deberán considerarse en la evaluación posterior de alternativas.

Los estudios, diagnósticos, campañas de medición y proyectos de ingeniería incluidos en este apartado se incorporan como antecedentes técnicos. Su existencia no implica que una alternativa previamente estudiada deba adoptarse automáticamente ni que las presentes Bases determinen su autorización, programación, financiamiento o ejecución.

Alcance de la evaluación.

La evaluación del sistema de conducción deberá integrar, al menos, las siguientes dimensiones:

1. Configuración y función dentro del abastecimiento. Se deberá identificar la relación entre la fuente, las obras de captación, las estaciones de bombeo, las líneas de conducción, el sistema histórico, las instalaciones de entrega y las plantas potabilizadoras.
2. Capacidad hidráulica nominal y efectiva. Será necesario distinguir entre la capacidad considerada en el diseño y la capacidad realmente disponible bajo las condiciones actuales de operación, considerando rugosidad, incrustaciones, pérdidas de carga, niveles, bombeo y demás factores que influyen en el transporte del agua.
3. Condición física y gestión del ciclo de vida. El análisis deberá considerar materiales, edad, integridad, inspecciones, mantenimiento, reparaciones, comportamiento histórico y necesidades de conservación o rehabilitación.
4. Redundancia y flexibilidad operativa. Se deberá evaluar la existencia de líneas, rutas o configuraciones alternativas que permitan mantener el suministro durante mantenimientos, fallas o contingencias.

5. Infraestructura electromecánica y dependencia energética. La capacidad de conducción deberá relacionarse con la condición y desempeño de estaciones de bombeo, motores, subestaciones, sistemas eléctricos, equipos auxiliares y mecanismos de respaldo.
6. Instrumentación, monitoreo y control. Se deberá analizar la disponibilidad de medición de caudales, presiones, niveles, consumo energético, telemetría, registros históricos, alarmas y supervisión operacional.
7. Calidad del agua conducida. La evaluación deberá distinguir las condiciones de conducción cerrada y superficial, así como sus posibles efectos sobre la variabilidad del agua cruda que posteriormente ingresa a los procesos de potabilización.
8. Consecuencias de una pérdida de capacidad. Será necesario estimar los efectos sobre producción, almacenamiento, distribución, continuidad, costos de operación y capacidad de recuperación del sistema metropolitano.
9. Calidad y actualidad de la evidencia. Cada dato deberá acompañarse de su fuente, fecha de medición, metodología, alcance, nivel de verificación y condiciones bajo las cuales fue obtenido.

3.3.1 Evolución técnica y antecedentes documentales del sistema de conducción Chapala–Guadalajara

La evolución del sistema de conducción Chapala–Guadalajara refleja la adaptación progresiva de la infraestructura a las necesidades de una ciudad que experimentó un crecimiento demográfico, territorial y operativo sostenido durante la segunda mitad del siglo XX.

El sistema histórico de conducción

El primer sistema de abastecimiento desde Chapala inició operaciones en 1956 mediante el aprovechamiento del sistema Río Santiago–Canal de Atequiza–Canal de Las Pintas. La documentación institucional consultada señala que esta configuración permitía transportar aproximadamente entre 2.0

y 2.5 m^3/s hacia Guadalajara, de acuerdo con las condiciones de demanda existentes en ese periodo (SIAPA, 2011).

Este sistema se desarrolló mediante infraestructura superficial integrada por canales, estructuras de regulación, bombeo y conducción. Su incorporación representó una etapa fundamental para ampliar el abastecimiento metropolitano; sin embargo, su configuración también implica condiciones operativas diferentes a las de una conducción cerrada.

La exposición a escurrimientos, sedimentos, procesos naturales y posibles aportaciones externas puede influir sobre la calidad del agua transportada, los requerimientos de mantenimiento y las condiciones de operación. Estos aspectos deberán evaluarse mediante información actualizada y no únicamente a partir de la configuración histórica del sistema.

El sistema histórico continúa formando parte del esquema hidráulico regional y mantiene relaciones con el abastecimiento urbano, la regulación superficial y otros usuarios del agua. Su análisis deberá considerar la diversidad de funciones que desempeña y evitar tratarlo exclusivamente como una infraestructura que deba conservarse o sustituirse en su totalidad.

Construcción del Acueducto Chapala–Guadalajara.

El crecimiento sostenido del Área Metropolitana de Guadalajara condujo al desarrollo de una infraestructura cerrada con mayor capacidad. Entre 1984 y 1991 se construyó el Acueducto Chapala–Guadalajara, con una longitud aproximada de 42 kilómetros y una capacidad de diseño reportada de hasta 7.5 m^3/s (AYESA, 2012).

La incorporación del acueducto modificó la configuración del abastecimiento al permitir transportar una proporción significativa del agua superficial mediante una línea cerrada vinculada con estaciones de bombeo y con el sistema metropolitano de producción.

Sin embargo, la capacidad nominal de diseño no debe interpretarse automáticamente como capacidad efectiva actual. Su evaluación requiere considerar las condiciones hidráulicas reales, la rugosidad, las incrustaciones, el desempeño electromecánico, los niveles operativos, el consumo energético y las restricciones observadas durante el funcionamiento.

Redundancia considerada en la concepción del sistema.

Uno de los antecedentes más relevantes documentados por el estudio técnico-económico elaborado por AYESA es que la concepción del sistema consideró dos líneas de conducción. La finalidad señalada no era incrementar los volúmenes autorizados de extracción del Lago de Chapala, sino proporcionar redundancia operativa para alternar las líneas, facilitar el mantenimiento y reducir el riesgo de interrupción del suministro (AYESA, 2012).

Durante la ejecución se construyó una sola de las líneas consideradas. Como resultado, el transporte de una parte relevante del abastecimiento proveniente de Chapala quedó asociado al funcionamiento de un conducto principal, incrementando la importancia de su disponibilidad, mantenimiento y capacidad de recuperación.

La redundancia debe entenderse como una capacidad del sistema para mantener su función cuando uno de sus componentes deja de estar disponible. No necesariamente implica duplicar toda la infraestructura, pero sí disponer de rutas, equipos o configuraciones que permitan realizar mantenimiento y responder a fallas sin producir interrupciones incompatibles con la prestación del servicio.

Diagnóstico y mantenimiento del acueducto, 2002.

El estudio desarrollado por Ramos Tapia documentó una pérdida progresiva de capacidad hidráulica asociada con la formación de incrustaciones y el incremento de la rugosidad interna de la conducción. Entre sus recomendaciones se encontraba establecer programas permanentes de instrumentación, monitoreo y mantenimiento para conocer y conservar el desempeño del sistema (Ramos Tapia, 2002).

Este antecedente es relevante porque muestra que la evaluación de la conducción no comenzó recientemente. Desde principios de la década de 2000 ya se reconocía la necesidad de relacionar la capacidad hidráulica con la condición interior de la tubería y con la disponibilidad de información obtenida mediante medición.

Sus resultados deberán interpretarse conforme a la fecha y condiciones bajo las cuales fueron obtenidos. No sustituyen una evaluación actualizada, pero constituyen una referencia para analizar la evolución del comportamiento hidráulico y verificar si las tendencias identificadas permanecen, se modificaron o fueron atendidas.

Diagnóstico Integral del SIAPA, 2010.

El Diagnóstico Integral del Sistema de Agua Potable del Área Metropolitana de Guadalajara incorporó el fortalecimiento del sistema de conducción dentro de los temas relevantes para la planeación del abastecimiento (SIAPA, 2010).

Para efectos de estas Bases Técnicas, este documento se incorpora como un antecedente institucional que permite reconstruir la evolución de la planeación. Su inclusión no significa que las conclusiones o proyectos ahí considerados deban adoptarse automáticamente bajo las condiciones actuales.

Será necesario distinguir entre las condiciones documentadas en 2010 y la información disponible posteriormente, así como determinar qué estudios, mantenimientos, modificaciones o decisiones se desarrollaron desde entonces.

Campaña de mediciones hidráulicas, 2011.

Durante 2011, el SIAPA realizó una campaña de mediciones hidráulicas destinada a verificar mediante instrumentación el comportamiento operativo del sistema de conducción (SIAPA, 2011).

Las campañas de campo constituyen una fuente especialmente relevante porque permiten contrastar las capacidades nominales con el desempeño observado. No obstante, para utilizar sus resultados como representación de la condición actual deberán conocerse:

- ✔ los puntos de medición;
- ✔ los equipos utilizados;
- ✔ las fechas y duración de la campaña;
- ✔ las condiciones de bombeo y niveles;
- ✔ los caudales y presiones observados;
- ✔ la incertidumbre asociada;
- ✔ y los cambios ocurridos desde la medición.

En caso de que estos datos no hayan sido actualizados, el diagnóstico deberá registrar la necesidad de una nueva campaña de instrumentación y conciliación hidráulica.

Estudio técnico-económico de alternativas, 2012.

El estudio elaborado por AYESA evaluó seis configuraciones desde perspectivas hidráulicas, energéticas, económicas y sociales. Entre las alternativas analizadas, el documento identificó como técnicamente conveniente una configuración que incorporaba una segunda línea de conducción y una estación de bombeo paralela, con el propósito de aumentar la redundancia y permitir mantenimiento sin suspender el suministro (AYESA, 2012).

Esta conclusión constituye un antecedente técnico de especial relevancia, pero deberá interpretarse como el resultado de un estudio elaborado bajo condiciones, costos, demandas y criterios correspondientes a su fecha.
Antes de adoptar cualquier alternativa será necesario actualizar:

- ✔ las condiciones hidráulicas;
- ✔ la demanda y los patrones de operación;
- ✔ el estado físico del acueducto;
- ✔ el desempeño de los sistemas de bombeo;
- ✔ los costos energéticos;
- ✔ las condiciones ambientales y territoriales;
- ✔ los riesgos;
- ✔ las estimaciones económicas;
- ✔ y la compatibilidad con los instrumentos vigentes de gestión del agua.

Documentación de ingeniería posterior.

Los proyectos y documentos de ingeniería desarrollados después del estudio de alternativas forman parte de la maduración técnica de las opciones analizadas. Su existencia permite conocer con mayor detalle trazos, componentes, capacidades, estaciones, costos, procesos constructivos y requerimientos operativos.

Sin embargo, el nivel de desarrollo de un proyecto no sustituye la actualización del diagnóstico ni determina por sí mismo su selección. Un proyecto ejecutivo constituye evidencia sobre la madurez de una alternativa, pero deberá evaluarse junto con otras opciones y con las condiciones actuales del sistema.

Interpretación de la evidencia acumulada.

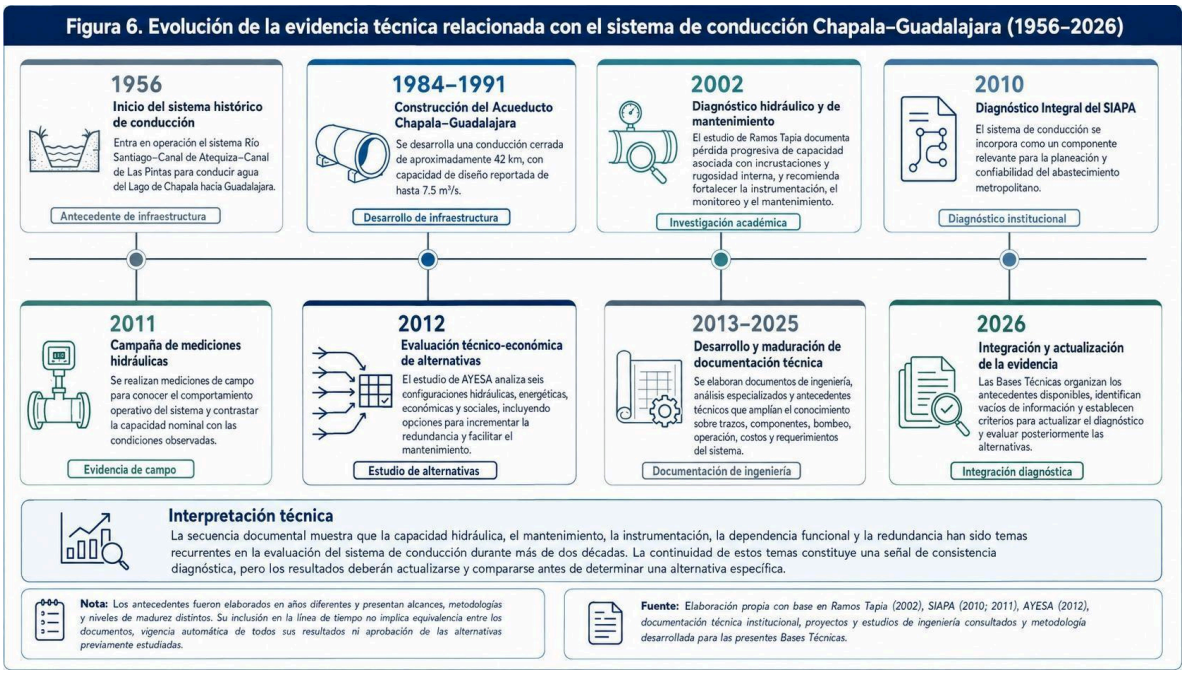
La revisión documental muestra una continuidad temática entre los estudios desarrollados en 2002, 2010, 2011 y 2012:

- ✔ necesidad de conocer la capacidad hidráulica real;
- ✔ importancia de la instrumentación y el monitoreo;
- ✔ efectos del mantenimiento sobre el desempeño;
- ✔ dependencia funcional de una línea principal;
- ✔ necesidad de contar con márgenes de redundancia;
- ✔ y relevancia de evaluar integralmente la conducción y el bombeo.

Esta continuidad no significa que todos los documentos hayan empleado la misma metodología ni que sus conclusiones sean directamente equivalentes. Tampoco demuestra automáticamente que una sola solución sea la única técnicamente viable.

Lo que sí permite establecer es que la confiabilidad del sistema de conducción ha sido objeto de análisis durante más de dos décadas y que existe una base documental suficiente para justificar una evaluación actualizada, comparativa y trazable de su condición y de las capacidades que deben fortalecerse.

La Figura 6 sintetiza los principales antecedentes documentales identificados para reconstruir la evolución del sistema de conducción. La secuencia muestra la incorporación del sistema histórico, la construcción del acueducto y la producción progresiva de diagnósticos, campañas de medición y estudios de alternativas.



La secuencia documental permite observar que la confiabilidad, la capacidad hidráulica, el mantenimiento, la instrumentación y la redundancia han permanecido como temas recurrentes en la evaluación del sistema de conducción. La coincidencia entre estudios deberá considerarse una señal de consistencia diagnóstica, pero sus resultados deberán actualizarse y contrastarse antes de sustentar decisiones posteriores.

SÍNTESIS TÉCNICA 3.3.1

La evolución del sistema de conducción Chapala–Guadalajara muestra que la confiabilidad, la capacidad hidráulica, el mantenimiento, la instrumentación y la redundancia han sido analizados durante más de dos décadas. Los estudios disponibles constituyen una base técnica relevante para actualizar el diagnóstico y comparar alternativas, pero no determinan automáticamente la adopción de una solución específica.

3.3.2 Integración y valoración de la evidencia técnica disponible

Concluida la revisión de la evolución histórica y documental del sistema de conducción Chapala–Guadalajara, corresponde organizar y valorar la evidencia disponible para determinar qué condiciones se encuentran suficientemente documentadas, cuáles representan tendencias históricas que requieren actualización y qué aspectos permanecen como vacíos de información.

La evaluación no deberá limitarse a reunir documentos ni a contabilizar el número de estudios que coinciden en una conclusión. Será necesario examinar la fecha, metodología, alcance, cobertura, nivel de detalle, datos de origen y condiciones operativas bajo las cuales se elaboró cada fuente.

Esta distinción resulta fundamental porque los documentos disponibles cumplen funciones diferentes. Una campaña de medición aporta observaciones directas sobre el comportamiento hidráulico en un periodo determinado; un diagnóstico institucional integra información para la planeación; un estudio de alternativas compara posibles configuraciones; y un proyecto de ingeniería desarrolla técnicamente una opción específica. Ninguno de estos instrumentos sustituye por sí solo una evaluación actualizada del sistema.

Objetivo de la evaluación de la evidencia.

Organizar, contrastar y valorar la información hidráulica, física, electromecánica, energética, operativa y documental disponible sobre el sistema de conducción Chapala–Guadalajara, con el propósito de:

- ✔ identificar condiciones respaldadas por mediciones o registros verificables;
- ✔ reconocer tendencias documentadas a lo largo del tiempo;
- ✔ diferenciar entre diagnóstico, recomendación, alternativa y proyecto;
- ✔ determinar la vigencia y aplicabilidad de los resultados;
- ✔ registrar inconsistencias o limitaciones;
- ✔ e identificar los estudios, inspecciones y mediciones que deben actualizarse.

Criterios para valorar la evidencia.

La información deberá analizarse con base en los siguientes criterios:

1. Origen y trazabilidad. Se deberá identificar la institución responsable, el documento original, el año de elaboración, la fuente de los datos y la posibilidad de reconstruir el procedimiento mediante el cual se obtuvieron los resultados.
2. Tipo de evidencia. La evaluación deberá distinguir entre:

   ✔ mediciones directas de campo;
   ✔ registros operativos;
   ✔ inspecciones físicas;
   ✔ modelaciones hidráulicas;
   ✔ diagnósticos institucionales;
   ✔ investigaciones académicas;
   ✔ estudios de alternativas;
   ✔ proyectos ejecutivos;
   ✔ estimaciones económicas;
   ✔ y referencias metodológicas o normativas.
3. Cobertura y representatividad. Será necesario determinar si la información representa la totalidad del sistema, una instalación específica, una condición puntual de operación o un periodo limitado de observación.
4. Vigencia temporal. La antigüedad de un estudio no invalida automáticamente sus resultados, pero condiciona su aplicación. La información histórica puede documentar tendencias, criterios de diseño o problemas previamente identificados; sin embargo, no deberá presentarse como descripción definitiva de las condiciones actuales sin una verificación posterior.
5. Consistencia metodológica. Los resultados deberán analizarse conforme a los métodos utilizados, las hipótesis adoptadas, los escenarios considerados y las condiciones de frontera de las modelaciones.
6. Nivel de madurez. La evidencia deberá diferenciar entre:
   ✔ identificación preliminar de una condición;
   ✔ diagnóstico documentado;
   ✔ alternativa conceptual;

- ✔ estudio de factibilidad;
- ✔ ingeniería básica;
- ✔ proyecto ejecutivo;
- ✔ y decisión institucional formal.

El nivel de desarrollo de una alternativa no deberá confundirse con su aprobación o selección.

7. Aplicabilidad al diagnóstico actual. Cada fuente deberá indicar qué aspecto puede sustentar en las Bases Técnicas y qué información necesita actualizarse antes de utilizarse para una decisión posterior.

Principales fuentes de evidencia.

Diagnóstico y mantenimiento del Acueducto Chapala–Guadalajara, 2002

El trabajo desarrollado por Ramos Tapia constituye un antecedente académico relevante para comprender la evolución de la capacidad hidráulica del acueducto.

El estudio documentó el incremento de la rugosidad interna y la presencia de incrustaciones como factores relacionados con la pérdida progresiva de capacidad de conducción. También recomendó fortalecer la instrumentación, el monitoreo y el mantenimiento permanente (Ramos Tapia, 2002).

Su principal aportación consiste en proporcionar una referencia técnica sobre el comportamiento interior de la conducción y mostrar que, desde principios de la década de 2000, existían elementos para evaluar la diferencia entre capacidad nominal y desempeño real.

No obstante, sus resultados corresponden a las condiciones observadas y modeladas en ese periodo. Por ello, deberán emplearse como línea base histórica y no como medición actual de la capacidad disponible.

Diagnóstico Integral del Sistema de Agua Potable, 2010.

El diagnóstico elaborado por el SIAPA integró el sistema de conducción dentro de la planeación general del abastecimiento metropolitano y reconoció la relevancia de fortalecer su confiabilidad (SIAPA, 2010).

Este documento aporta una visión institucional del sistema y permite identificar cómo se interpretaba la problemática de la conducción dentro del conjunto del abastecimiento. Su aplicación actual requiere distinguir entre las condiciones documentadas en 2010 y los cambios ocurridos posteriormente en infraestructura, operación, demanda, mantenimiento y disponibilidad de nuevas fuentes.

Campaña de mediciones hidráulicas, 2011.

La campaña realizada por el SIAPA constituye una fuente de evidencia directa porque permitió observar el comportamiento hidráulico mediante instrumentación de campo (SIAPA, 2011).

Sus resultados son relevantes para contrastar la capacidad de diseño con las condiciones operativas registradas; sin embargo, su utilización requiere disponer de las memorias completas de medición, puntos instrumentados, fechas, duración de la campaña, niveles, caudales, presiones, condiciones de bombeo, calibración de equipos e incertidumbre asociada.

Debido al tiempo transcurrido, esta campaña debe considerarse un antecedente para diseñar una nueva evaluación de campo y no una representación suficiente de las condiciones actuales.

Estudio técnico-económico de alternativas, 2012.

El estudio elaborado por AYESA comparó seis configuraciones desde perspectivas hidráulicas, energéticas, económicas y sociales. Entre las alternativas examinadas se incluyeron opciones para incorporar redundancia en

la conducción y el bombeo, con el propósito de facilitar el mantenimiento y reducir la vulnerabilidad asociada a la dependencia de una sola línea principal (AYESA, 2012).

Su aportación consiste en integrar antecedentes previos, analizar configuraciones alternativas y desarrollar criterios comparativos. No obstante, las conclusiones corresponden a las condiciones, demandas, costos, hipótesis y criterios disponibles al momento de su elaboración.

El estudio deberá utilizarse como antecedente técnico de alternativas, pero sus resultados hidráulicos, energéticos, económicos, ambientales y territoriales requerirán actualización antes de sustentar una decisión.

Documentación de ingeniería desarrollada posteriormente.

Los documentos de ingeniería elaborados después del estudio de alternativas permiten conocer con mayor detalle las características de algunas configuraciones previamente analizadas. Pueden incluir trazos, diámetros, estaciones de bombeo, componentes electromecánicos, procedimientos constructivos, costos, etapas y requerimientos de operación.

Esta documentación acredita el nivel de madurez técnica de determinadas opciones, pero no constituye evidencia suficiente para afirmar que representan la única solución posible o que mantienen íntegramente su vigencia.

Su evaluación deberá verificar:

- ✔ correspondencia con las condiciones hidráulicas actuales;
- ✔ compatibilidad con infraestructura existente;
- ✔ actualización de costos;
- ✔ disponibilidad de derechos de vía;
- ✔ condiciones ambientales y sociales;
- ✔ requerimientos energéticos;

- ✔ riesgos constructivos;
- ✔ y congruencia con la demanda y operación actual.

Información operativa y energética reciente.

Los registros institucionales sobre operación, bombeo, consumo de energía, mantenimiento, telemetría y condición electromecánica pueden aportar información más reciente sobre componentes asociados al sistema de conducción.

La propuesta institucional sobre seguridad y eficiencia energética, hídrica y financiera identifica la magnitud de la dependencia eléctrica y electromecánica del sistema y reconoce la necesidad de fortalecer equipos de bombeo, instrumentación, telemetría y control. Esta fuente deberá considerarse un antecedente transversal, pero sus inventarios, costos, ahorros y soluciones propuestas requieren validación y conciliación con los registros operativos oficiales (SIAPA, s. f.).

Cuadro 5. Matriz de evidencia técnica para la evaluación del sistema de conducción Chapala-Guadalajara

Parte 1 de 2

Evidencia técnica	Institución y año	Aportación principal	Condición de uso en las Bases Técnicas
1. **Diagnóstico y mantenimiento del Acueducto Chapala-Guadalajara**	Instituto de Ingeniería, UNAM / Ramos Tapia, 2002	Documenta cambios en la capacidad hidráulica asociados con el incremento de la rugosidad interna y la presencia de incrustaciones. Recomienda fortalecer la instrumentación, el monitoreo y el mantenimiento permanente.	Se utiliza como línea base histórica para analizar la evolución del comportamiento hidráulico. Sus resultados requieren contrastarse con mediciones e inspecciones actuales.
2. **Diagnóstico Integral del Sistema de Agua Potable**	SIAPA, 2010	Integra el sistema de conducción dentro de la planeación general del abastecimiento metropolitano y reconoce la relevancia de fortalecer su confiabilidad.	Se incorpora como antecedente institucional. Las condiciones documentadas en 2010 deberán diferenciarse de la configuración, operación y demanda actuales.
3. **Campaña de mediciones hidráulicas**	SIAPA, 2011	Aporta mediciones de campo para conocer el comportamiento hidráulico del sistema y contrastar la capacidad nominal con las condiciones observadas de operación.	Constituye evidencia directa histórica. Requiere recuperar y revisar las memorias, puntos de medición, metodología, condiciones operativas y datos originales, además de realizar una actualización de campo.
4. **Estudio técnico-económico de alternativas**	AYESA, 2012	Evalúa seis configuraciones desde perspectivas hidráulicas, energéticas, económicas y sociales, incluyendo alternativas orientadas a incrementar la redundancia y facilitar el mantenimiento.	Se utiliza para conocer las opciones previamente estudiadas y sus criterios comparativos. Sus hipótesis, costos, escenarios y resultados deberán actualizarse antes de sustentar una decisión.

Continúa en la Parte 2 de 2 →

Cuadro 5. Matriz de evidencia técnica para la evaluación del sistema de conducción Chapala–Guadalajara

Parte 2 de 2

Evidencia técnica	Institución y año	Aportación principal	Condición de uso en las Bases Técnicas
5. **Documentación y proyectos de ingeniería posteriores**	Instituciones responsables y consultores, varios años	Desarrollan técnicamente algunas alternativas mediante trazos, componentes, capacidades, estaciones de bombeo, requerimientos operativos, costos y procedimientos constructivos.	Permiten valorar el nivel de madurez técnica de las alternativas, pero no determinan su selección, aprobación, programación, financiamiento o ejecución. Su vigencia deberá verificarse frente a las condiciones actuales.
6. **Registros operativos, electromecánicos, energéticos y de telemetría**	SIAPA, varios años	Aportan información sobre caudales, presiones, niveles, bombeo, consumo energético, mantenimiento, fallas, instrumentación, telemetría y control operacional.	Deberán conciliarse entre áreas, verificarse, documentar su metodología y acompañarse de fecha de corte antes de utilizarse como representación de las condiciones actuales.
7. **Propuesta de seguridad y eficiencia energética, hídrica y financiera**	SIAPA, s. f.	Identifica preliminarmente necesidades relacionadas con sistemas de bombeo, infraestructura eléctrica y electromecánica, eficiencia energética, medición, telemetría y control.	Se incorpora como diagnóstico preliminar transversal. Sus inventarios, costos, estimaciones de ahorro y alternativas tecnológicas deberán validarse técnica, económica e institucionalmente.

Nota: Las fuentes incluidas fueron elaboradas en distintos años y presentan diferencias de metodología, alcance, cobertura, nivel de detalle y madurez técnica. Su incorporación no implica equivalencia entre los documentos, vigencia automática de sus resultados ni aprobación de las alternativas previamente estudiadas. La evidencia histórica deberá contrastarse con mediciones, inspecciones, registros operativos y análisis actualizados antes de sustentar decisiones posteriores.

Fuente: Elaboración propia con base en Ramos Tapia (2002); Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA, 2010; 2011; varios años; s. f.); AYESA (2012); documentación técnica institucional; proyectos y estudios de ingeniería consultados; y metodología desarrollada para las presentes Bases Técnicas.

Integración y alcance de la evidencia disponible.

La revisión de las fuentes muestra una coincidencia sostenida en torno a varios aspectos del sistema de conducción. Los estudios distinguen entre la capacidad prevista en el diseño y el desempeño hidráulico observado; documentan la posible influencia de la rugosidad y las incrustaciones; señalan la importancia del mantenimiento, la medición y la instrumentación; y reconocen que la operación del sistema depende tanto de la conducción como de la infraestructura de bombeo, el suministro energético y la disponibilidad de configuraciones alternativas.

Esta convergencia fortalece la consistencia del diagnóstico, debido a que los mismos temas aparecen en investigaciones académicas, documentos institucionales, campañas de medición y estudios de alternativas elaborados en distintos momentos. Sin embargo, la coincidencia entre fuentes no permite asumir que la magnitud de las condiciones documentadas permanece sin cambios. Parte de la información hidráulica disponible corresponde a periodos anteriores, las condiciones de demanda y operación han evolucionado y los datos físicos, electromecánicos, energéticos y de control no siempre se encuentran integrados bajo una misma fecha de corte.

Asimismo, los documentos analizados presentan niveles de madurez distintos. Algunos describen condiciones observadas o medidas; otros formulan recomendaciones, comparan alternativas o desarrollan técnicamente una opción específica. Esta diferencia deberá conservarse explícitamente, pues una investigación, una campaña de campo, un estudio de factibilidad y un proyecto de ingeniería no aportan el mismo tipo de evidencia ni producen por sí mismos una decisión institucional.

En consecuencia, la documentación disponible permite definir con claridad qué aspectos deben verificarse, pero no siempre permite determinar su condición actual. La actualización deberá integrar la medición simultánea de caudales, presiones y niveles con la inspección de la conducción, la revisión de válvulas y dispositivos de protección, la evaluación de estaciones de bombeo y equipos de reserva, el análisis energético y la comprobación de los sistemas de instrumentación, telemetría y control. Estos resultados deberán relacionarse con las condiciones actuales de demanda, mantenimiento, operación y capacidad de respaldo.

La actualización tampoco deberá limitarse a reproducir los estudios anteriores. Su propósito será contrastar las tendencias históricas con evidencia reciente, determinar cuáles persisten, reconocer aquellas que han sido atendidas e identificar posibles condiciones nuevas. De esta manera, la información acumulada funcionará como una línea base para el diagnóstico y no como una conclusión invariable sobre el estado presente de la infraestructura.

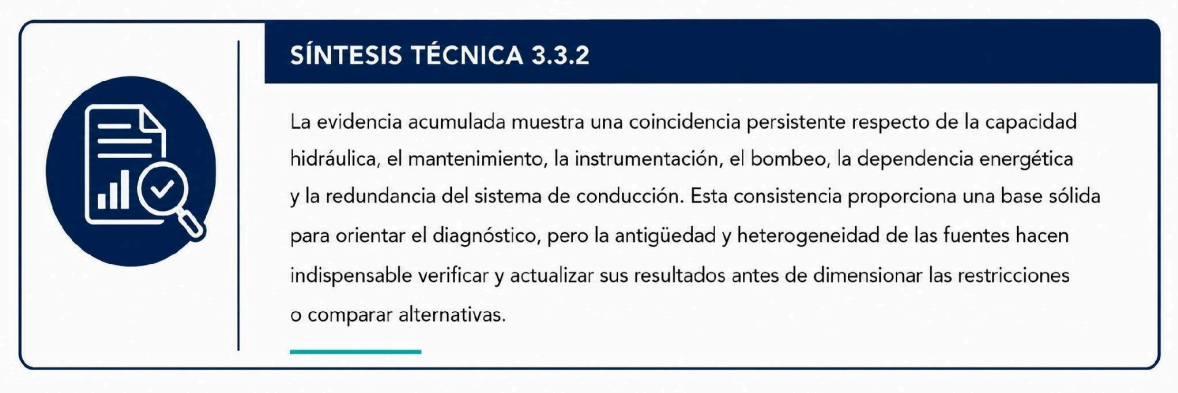
Implicación para la toma de decisiones.

La principal aportación de la evidencia disponible consiste en reducir la incertidumbre sobre los temas que deben analizarse: capacidad hidráulica efectiva, condición de la infraestructura, mantenimiento, bombeo, dependencia energética, instrumentación, redundancia y capacidad de recuperación. No obstante, la diferencia temporal entre las fuentes impide trasladar

automáticamente sus resultados a las condiciones actuales o utilizarlos de manera aislada para seleccionar una alternativa.

La toma de decisiones deberá mantener una secuencia trazable en la que la evidencia histórica sea contrastada con una verificación actual; esta verificación permita identificar y dimensionar las restricciones; y las restricciones sirvan como base para comparar alternativas bajo criterios hidráulicos, operativos, energéticos, ambientales, territoriales, institucionales y económicos.

El mayor nivel de desarrollo de determinados estudios o proyectos constituye un elemento relevante para valorar su madurez técnica, pero no sustituye la actualización del diagnóstico ni la comparación objetiva con otras opciones. La decisión deberá sustentarse tanto en la consistencia de la evidencia acumulada como en su vigencia, calidad y correspondencia con las condiciones actuales del sistema.



3.3.3 Evaluación integrada de las condiciones documentadas de operación

La evaluación del sistema de conducción Chapala–Guadalajara debe distinguir entre las condiciones respaldadas por estudios, campañas de medición y registros disponibles, y aquellas que aún requieren ser confirmadas mediante información actualizada.

Los antecedentes revisados permiten reconocer temas persistentes

relacionados con la capacidad hidráulica, la dependencia funcional de una línea principal, la condición física de la infraestructura, el bombeo, el consumo energético, el mantenimiento y la disponibilidad de instrumentación. Sin embargo, una parte sustancial de esta evidencia corresponde a periodos anteriores, por lo que sus resultados no deben presentarse como una descripción definitiva de las condiciones actuales.

El análisis se organizará en las siguientes dimensiones.

1. Dependencia funcional y redundancia. La conducción desde el Lago de Chapala constituye uno de los principales vínculos entre la fuente superficial y la infraestructura metropolitana de producción, regulación y distribución. Por ello, una disminución de su capacidad puede producir efectos que trascienden la propia conducción y repercuten sobre la disponibilidad de agua potable en distintas zonas del sistema. La documentación disponible indica que la concepción original contempló dos líneas con el propósito de proporcionar redundancia y permitir actividades de mantenimiento sin suspender totalmente el suministro. La construcción de una sola línea principal incrementó la dependencia funcional respecto de su disponibilidad (AYESA, 2012).

No obstante, la redundancia no debe analizarse únicamente como la existencia o ausencia de una segunda tubería. Debe considerar la capacidad efectiva del sistema histórico, las fuentes complementarias, el almacenamiento disponible, las interconexiones y la posibilidad de modificar temporalmente la operación. El diagnóstico deberá distinguir entre respaldo parcial, respaldo temporal y redundancia funcional equivalente.

2. Capacidad hidráulica y condición física. La capacidad de diseño reportada para el acueducto no representa necesariamente el caudal que puede transportarse actualmente. La capacidad efectiva depende de la rugosidad interior, las incrustaciones, las pérdidas de carga, el estado de válvulas y accesorios, los niveles de operación y el desempeño del sistema de bombeo. El estudio de Ramos Tapia documentó desde 2002 cambios

en el comportamiento hidráulico asociados con el incremento de la rugosidad y la presencia de incrustaciones, mientras que la campaña del SIAPA de 2011 permitió contrastar la capacidad nominal con condiciones observadas en campo (Ramos Tapia, 2002; SIAPA, 2011). Estos antecedentes evidencian la necesidad de mantener una evaluación permanente de la conducción, pero no permiten cuantificar por sí solos su capacidad actual. Para ello será necesario actualizar las mediciones de caudal, presión, niveles y pérdidas de carga, así como documentar la condición interior y exterior de la tubería, sus recubrimientos, uniones, válvulas y dispositivos de protección. La antigüedad constituye un indicador de atención, pero no determina automáticamente la rehabilitación o sustitución del activo. La decisión deberá considerar conjuntamente integridad, desempeño, criticidad, historial de mantenimiento y costo del ciclo de vida (ISO, 2024; AWWA, 2012).

3. Bombeo, energía y control operacional. La capacidad de conducción está estrechamente vinculada con el funcionamiento de las estaciones de bombeo, los motores, las instalaciones eléctricas, las subestaciones y los sistemas de control. Una conducción físicamente disponible puede operar por debajo de su capacidad si los equipos electromecánicos presentan restricciones, baja eficiencia, escasa redundancia o dependencia de un suministro eléctrico vulnerable. La información institucional reciente reconoce que los sistemas de bombeo, la seguridad eléctrica, la telemetría y el control operacional son dimensiones relevantes para la continuidad y eficiencia del abastecimiento (SIAPA, s. f.). Sin embargo, sus inventarios, estimaciones de ahorro y propuestas tecnológicas deberán verificarse mediante registros oficiales, curvas reales de operación y mediciones energéticas. El análisis deberá integrar hidráulica, energía y control como una sola dimensión operativa. No será suficiente conocer el caudal transportado; también deberá determinarse bajo qué condiciones energéticas se alcanza, qué equipos se encuentran disponibles, qué margen de reserva existe y qué capacidad tiene el sistema para detectar y responder ante una anomalía.

4. Mantenimiento, capacidad de intervención y recuperación. La confiabilidad de una conducción de gran escala depende de la posibilidad de inspeccionarla, mantenerla y repararla sin producir interrupciones prolongadas. Esta condición adquiere especial relevancia cuando el sistema presenta una elevada dependencia de una línea principal. El diagnóstico deberá diferenciar las actividades que pueden realizarse con el sistema en operación de aquellas que requieren reducir o suspender temporalmente la conducción. También deberá analizar la disponibilidad de válvulas funcionales, accesos, equipos especializados, materiales, personal, protocolos de aislamiento y configuraciones alternativas de abastecimiento. La capacidad de recuperación no depende solamente del tiempo requerido para reparar un componente. Incluye la detección de la falla, la movilización de recursos, la coordinación entre áreas, la posibilidad de mantener un suministro parcial y el restablecimiento gradual de la operación. Por ello, el mantenimiento deberá analizarse como una capacidad institucional permanente y no únicamente como una actividad correctiva posterior a la aparición de fallas.
5. Sistema histórico de conducción y calidad del agua. El sistema histórico superficial y el acueducto cerrado presentan condiciones técnicas distintas y deben evaluarse de manera diferenciada. Los canales y estructuras del sistema histórico mantienen funciones relacionadas con el abastecimiento y con otros usos y procesos hidráulicos regionales, por lo que su análisis no debe reducirse a una comparación directa con la conducción cerrada. Su configuración superficial puede favorecer la incorporación de sedimentos, escurrimientos y aportaciones externas, además de requerir acciones continuas de limpieza, desazolve y conservación de secciones hidráulicas. No obstante, la infraestructura abierta no deberá presentarse como la única causa de la variabilidad en la calidad del agua cruda.

Cualquier afirmación sobre contaminación, descargas no autorizadas, pérdidas o deterioro de la calidad deberá respaldarse mediante inspecciones, campañas

de muestreo, balances y registros verificables. Cuando esa información no exista o se encuentre fragmentada, deberá registrarse como una brecha de conocimiento.

Integración de las condiciones documentadas y brechas de información

La evidencia disponible permite identificar cinco temas que requieren actualización prioritaria:

1. capacidad hidráulica efectiva y pérdidas de carga;
2. condición física y electromecánica de la infraestructura;
3. redundancia y capacidad real de respaldo;
4. instrumentación, telemetría y control operacional;
5. mantenimiento, riesgos y tiempos de recuperación.

Esta actualización deberá integrar mediciones simultáneas, inspecciones, registros operativos, información energética y escenarios de contingencia. Los resultados tendrán que acompañarse de fecha de corte, metodología, condiciones de operación e incertidumbre.

El diagnóstico deberá distinguir claramente entre:

Condición documentada → Interpretación técnica → Información faltante → Implicación para la toma de decisiones

Con ello se evitará presentar hipótesis históricas como hechos actuales o convertir un estudio de alternativas en una decisión institucional anticipada.

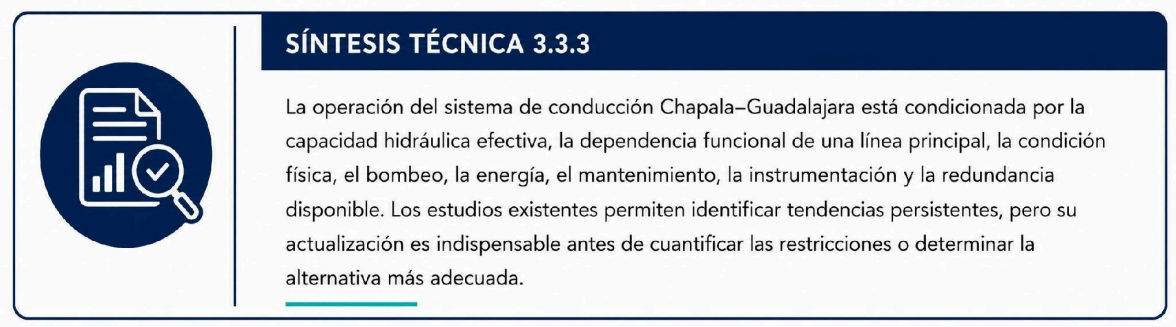
Implicación para la toma de decisiones

La evidencia acumulada permite reconocer que la confiabilidad del sistema de conducción depende de la relación entre capacidad hidráulica, integridad física, bombeo, energía, mantenimiento, instrumentación y redundancia.

Sin embargo, la heterogeneidad y antigüedad de parte de la información hacen necesaria una actualización antes de cuantificar las restricciones o comparar

alternativas. La primera etapa deberá orientarse a conciliar y verificar la evidencia, establecer la capacidad efectiva, determinar la condición de los activos y caracterizar los márgenes reales de respaldo y recuperación.

A partir de esa actualización podrán diferenciarse necesidades de mantenimiento, rehabilitación, modernización electromecánica, fortalecimiento del monitoreo, incorporación de redundancia o evaluación de configuraciones alternativas, sin predeterminar la solución que deba adoptarse.



3.3.4 Restricciones, riesgos y vacíos de información del sistema de conducción

La revisión histórica, documental y operativa permite reconocer que la confiabilidad del sistema de conducción Chapala–Guadalajara se encuentra condicionada por la relación entre su capacidad hidráulica efectiva, la dependencia funcional de una línea principal, la disponibilidad de mantenimiento, el desempeño del bombeo y la existencia de mecanismos suficientes de medición, control y respaldo. La principal restricción documentada no corresponde únicamente a la antigüedad de la conducción ni a la presencia de un deterioro particular. Se relaciona con una configuración en la que una parte relevante del abastecimiento metropolitano depende del funcionamiento continuo de un componente cuya indisponibilidad puede repercutir sobre la producción, la regulación y la distribución de agua potable.

El estudio de alternativas elaborado en 2012 documentó que la concepción del sistema consideraba la incorporación de redundancia para permitir la

alternancia operativa y facilitar el mantenimiento. La ejecución de una sola línea principal hizo que la continuidad del transporte de agua desde Chapala quedara vinculada en mayor medida con la disponibilidad de esa infraestructura (AYESA, 2012).

Esta condición no significa que el sistema carezca completamente de alternativas. El sistema histórico, las fuentes complementarias, el almacenamiento y las interconexiones pueden proporcionar ciertos márgenes de maniobra. Sin embargo, la información disponible no permite afirmar que estos componentes puedan reemplazar íntegramente y durante periodos prolongados la capacidad de la conducción principal. Por ello, deberá distinguirse entre respaldo temporal, respaldo parcial y redundancia funcional equivalente.

Capacidad hidráulica y evolución del desempeño.

Los estudios de Ramos Tapia y las campañas posteriores del SIAPA muestran que la capacidad hidráulica del acueducto ha sido objeto de evaluación desde hace más de dos décadas. La rugosidad interna, las incrustaciones y las pérdidas de carga fueron identificadas como factores capaces de modificar la relación entre la capacidad nominal y el caudal efectivamente transportado (Ramos Tapia, 2002; SIAPA, 2011).

Estos antecedentes permiten reconocer una posible evolución del desempeño, pero no son suficientes para cuantificar su magnitud actual. La capacidad efectiva deberá determinarse mediante mediciones recientes y simultáneas de caudal, presión, niveles, condiciones de bombeo y consumo energético, acompañadas por una evaluación de la condición física de la conducción.

La restricción, por tanto, no consiste únicamente en una posible disminución del caudal transportado. También se relaciona con la incertidumbre existente sobre la capacidad actual, los márgenes operativos disponibles y la manera en que el sistema respondería ante una reducción temporal del funcionamiento.

Mantenimiento y capacidad de intervención.

La confiabilidad de la conducción depende de la posibilidad de realizar inspecciones, mantenimiento y reparaciones sin generar interrupciones prolongadas. Cuando una parte importante del suministro depende de una línea principal, las actividades de conservación pueden requerir maniobras complejas, reducciones temporales de capacidad o configuraciones alternativas de abastecimiento.

La evidencia disponible reconoce la importancia del mantenimiento permanente, pero todavía se requiere integrar información sobre las intervenciones realizadas, el comportamiento histórico de la infraestructura, la funcionalidad de las válvulas y dispositivos de protección y los tiempos necesarios para aislar, reparar y restablecer la operación.

Esta condición incrementa la importancia de la planeación preventiva. La ausencia de fallas mayores no debe interpretarse como evidencia suficiente de que la infraestructura puede continuar operando indefinidamente sin una evaluación sistemática de su ciclo de vida.

Dependencia electromecánica, energética y digital.

La capacidad de conducción se encuentra estrechamente vinculada con el funcionamiento de las estaciones de bombeo y de la infraestructura eléctrica y electromecánica. Una restricción en bombas, motores, subestaciones, equipos auxiliares o sistemas de control puede reducir el caudal disponible incluso cuando la tubería conserve condiciones físicas adecuadas.

La información institucional reciente reconoce que la seguridad eléctrica, la eficiencia de los equipos de bombeo, la telemetría y la supervisión operacional son factores relevantes para la continuidad del abastecimiento (SIAPA, s. f.). No

obstante, los inventarios, estimaciones energéticas y propuestas tecnológicas deberán verificarse antes de utilizarse para definir acciones específicas.
La fragmentación o cobertura parcial de la instrumentación también constituye una restricción diagnóstica. Sin mediciones continuas y comparables resulta más difícil identificar pérdidas de desempeño, anticipar fallas, evaluar maniobras y conocer la capacidad real del sistema bajo distintos escenarios.

Condiciones particulares del sistema histórico.

El sistema superficial de conducción mantiene funciones distintas a las del acueducto cerrado. Su configuración implica requerimientos permanentes de desazolve, limpieza, conservación de estructuras, control de aportaciones y seguimiento de la calidad del agua.

La exposición a escurrimientos, sedimentos y posibles aportaciones externas puede modificar las características del agua conducida y aumentar las exigencias sobre los procesos de potabilización. Sin embargo, cualquier afirmación sobre contaminación o descargas no autorizadas deberá sustentarse en inspecciones, muestreos y registros verificables.

La principal restricción en este caso radica en la necesidad de conocer con mayor precisión los volúmenes transportados, las extracciones, las pérdidas, las funciones que conserva el sistema y las condiciones que influyen sobre la calidad del agua. La falta de un balance actualizado limita la posibilidad de evaluar su contribución real al abastecimiento y su capacidad para funcionar como respaldo operativo.

Riesgos para la continuidad del abastecimiento.

Las restricciones documentadas pueden traducirse en riesgos para la continuidad cuando coinciden una elevada dependencia funcional, márgenes

limitados de respaldo, capacidad hidráulica incierta, dificultades para efectuar mantenimiento y tiempos prolongados de recuperación.

Una reducción en la conducción puede afectar la producción de agua potable, disminuir los niveles de almacenamiento, incrementar la exigencia sobre fuentes y sistemas complementarios y modificar las condiciones de presión y continuidad en la distribución. También puede elevar los costos de bombeo, operación y atención de contingencias.

La magnitud de estas consecuencias dependerá de la duración del evento, la capacidad disponible en otros componentes, la demanda existente, el almacenamiento y la posibilidad de reorganizar temporalmente la operación. Por ello, el riesgo deberá analizarse mediante escenarios y no a partir de una sola condición de falla.

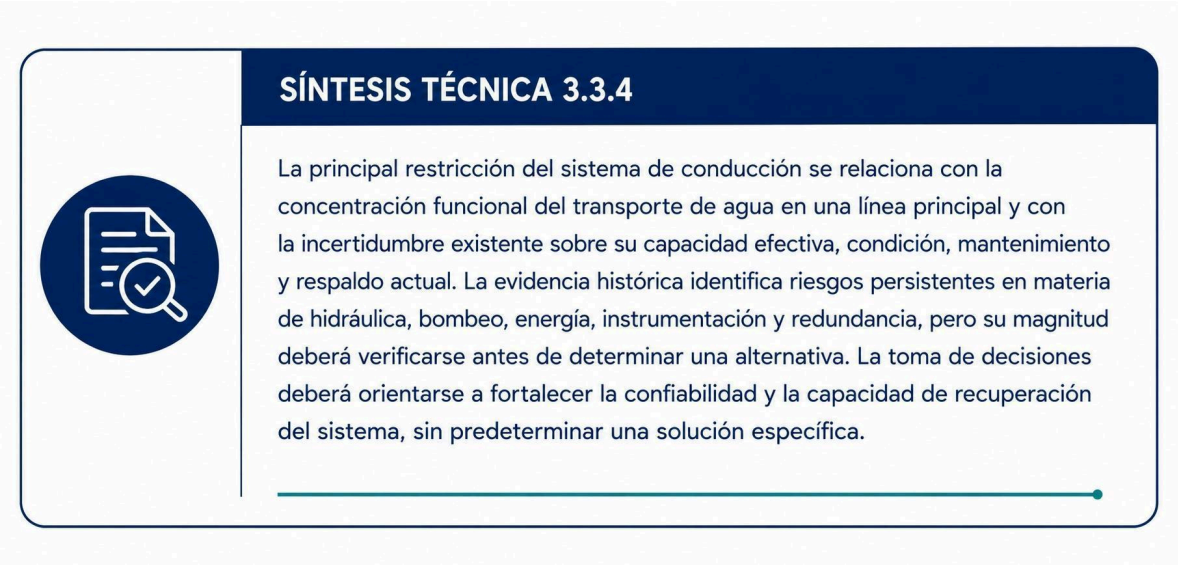
Implicación para la toma de decisiones.

El diagnóstico permite afirmar que la confiabilidad del sistema de conducción requiere atención desde una perspectiva integral. No obstante, las condiciones documentadas no determinan automáticamente una única respuesta técnica.

La evaluación posterior deberá comparar alternativas capaces de fortalecer la continuidad, el mantenimiento, el monitoreo, la eficiencia y la capacidad de respaldo del sistema. Entre ellas podrán considerarse acciones sobre la infraestructura existente, modernización electromecánica, fortalecimiento de la instrumentación, mejora de las capacidades de mantenimiento, recuperación funcional de componentes históricos o configuraciones adicionales de conducción.

La existencia de estudios o proyectos previamente desarrollados deberá valorarse como un indicador de madurez técnica, pero su selección dependerá de la actualización del diagnóstico, la comparación de opciones y la evaluación

de sus implicaciones hidráulicas, operativas, energéticas, ambientales, territoriales, institucionales y económicas.



3.4 Evaluación técnica del sistema metropolitano de producción de agua potable

La producción de agua potable constituye el proceso mediante el cual el agua proveniente de las distintas fuentes de abastecimiento se transforma en agua apta para uso y consumo humano y se incorpora al sistema de regulación y distribución. Su desempeño influye directamente en la calidad sanitaria, la continuidad del servicio, la capacidad de respuesta ante variaciones en las fuentes y la confiabilidad general del abastecimiento metropolitano.

La evaluación de este sistema no puede limitarse a comprobar la capacidad nominal de las plantas potabilizadoras ni el volumen promedio que producen. Debe analizar si los procesos disponibles conservan la capacidad de tratar el agua bajo las condiciones actuales de calidad, variabilidad y demanda; si pueden mantener el cumplimiento normativo durante condiciones ordinarias y extraordinarias; y si cuentan con los márgenes operativos, energéticos, tecnológicos e institucionales necesarios para responder ante cambios futuros.

En México, la NOM-127-SSA1-2021 establece los límites permisibles de calidad del agua para uso y consumo humano, mientras que la NOM-179-SSA1-2020 regula el control de la calidad del agua distribuida por los sistemas de abastecimiento. En consecuencia, la responsabilidad sanitaria no concluye a la salida de la planta potabilizadora, sino que requiere preservar y verificar la calidad durante la regulación y distribución (Secretaría de Salud, 2020; 2022).

De manera complementaria, las directrices más recientes de la Organización Mundial de la Salud plantean una gestión preventiva de los riesgos desde la fuente hasta el consumidor, mediante metas de protección de la salud, planes de seguridad del agua, control operacional y vigilancia independiente (OMS, 2026). Esta perspectiva obliga a relacionar la condición de las fuentes, el desempeño del tratamiento, la operación de las plantas, el almacenamiento y la distribución como partes de una misma cadena de seguridad sanitaria.

Bajo este enfoque, la capacidad del sistema metropolitano de producción depende de la interacción entre las características del agua cruda, los procesos de tratamiento, la condición de las estructuras civiles, la infraestructura electromecánica, la disponibilidad de productos químicos, el manejo de residuos y lodos, el suministro energético, los laboratorios, la instrumentación y las capacidades del personal responsable de la operación.

Una planta puede conservar capacidad hidráulica, pero presentar limitaciones para responder a determinados cambios en la calidad del agua cruda. También puede disponer de procesos adecuados, pero enfrentar restricciones derivadas de equipos electromecánicos, suministro energético, instrumentación incompleta, mantenimiento diferido o escasa flexibilidad para retirar unidades de operación sin reducir significativamente la producción.

Por ello, la evaluación deberá distinguir entre capacidad instalada, capacidad efectiva de operación y capacidad de producción segura. La primera corresponde a la configuración nominal de la planta; la segunda representa el

caudal que puede tratarse en las condiciones reales de funcionamiento; y la tercera incorpora, además, la posibilidad de mantener de manera sostenida la calidad requerida, los márgenes de seguridad, el mantenimiento y la respuesta ante variaciones o contingencias.

La gestión del ciclo de vida resulta igualmente relevante. La antigüedad de una planta, unidad de proceso o equipo constituye un indicador de atención, pero no determina automáticamente su modernización o sustitución. La acción requerida deberá sustentarse en la condición, el desempeño, la criticidad, la adaptabilidad tecnológica, los riesgos sanitarios, la disponibilidad de redundancia y el costo de las alternativas durante el ciclo de vida (ISO, 2024).

La evaluación tampoco deberá concentrarse exclusivamente en una instalación.

El sistema metropolitano debe analizarse como un conjunto de plantas que reciben agua de fuentes diferentes, operan con procesos y capacidades distintas y atienden zonas territoriales específicas. La concentración de una proporción significativa de la producción en determinadas instalaciones puede incrementar su relevancia funcional y las consecuencias asociadas a una reducción de capacidad, mientras que la distribución territorial de otras plantas puede proporcionar flexibilidad y márgenes de maniobra.

El propósito de este apartado es caracterizar la evolución y configuración del sistema de producción, analizar la relación entre la calidad del agua cruda y la capacidad de los procesos, reconocer las condiciones que limitan su desempeño y determinar las capacidades que deberán fortalecerse. Los proyectos de reconversión, ampliación o modernización previamente elaborados se incorporarán como antecedentes técnicos, sin que su existencia determine automáticamente la selección de una solución.

3.4.1 Evolución del sistema metropolitano de producción de agua potable

El sistema metropolitano de producción de agua potable evolucionó mediante la incorporación progresiva de plantas, unidades de tratamiento y procesos asociados a las distintas fuentes de abastecimiento. Cada etapa respondió a las condiciones de crecimiento urbano, disponibilidad del recurso, infraestructura de conducción y requerimientos sanitarios existentes en el momento de su desarrollo.

Esta evolución permitió ampliar la producción y sostener el abastecimiento de una población creciente. Sin embargo, también dio lugar a un sistema heterogéneo, integrado por instalaciones construidas en periodos diferentes, con tecnologías, capacidades, configuraciones y condiciones de mantenimiento particulares.

Las plantas potabilizadoras No. 1 Miravalle, No. 3 San Gaspar y No. 5 Los Agaves, junto con las demás instalaciones del sistema, cumplen funciones diferenciadas conforme al origen del agua, su ubicación territorial, los procesos disponibles y su integración con la infraestructura de conducción y distribución. En consecuencia, no deberán evaluarse como unidades independientes, sino como componentes complementarios de un mismo sistema de producción.

La incorporación sucesiva de infraestructura incrementó la capacidad instalada, pero también fortaleció las relaciones de dependencia entre fuentes, conducciones, plantas, sistemas de bombeo, tanques y redes. Una variación en la cantidad o calidad del agua que llega a una planta puede modificar los requerimientos de tratamiento; una disminución de la producción puede afectar los niveles de almacenamiento y la continuidad; y una falla en el bombeo o suministro eléctrico puede reducir la disponibilidad de procesos que físicamente permanecen en condiciones de operar.

Transformación de las condiciones del agua cruda.

Las condiciones bajo las cuales operan las plantas no permanecen constantes. La calidad del agua cruda puede modificarse como consecuencia de variaciones estacionales, fenómenos hidrometeorológicos, erosión y arrastre de sedimentos, cambios en las cuencas, proliferaciones biológicas, concentración de determinados compuestos o descargas que alteren las características de las fuentes.

En el caso del Área Metropolitana de Guadalajara, la configuración del abastecimiento incorpora aguas provenientes de fuentes superficiales y subterráneas y de sistemas de conducción con características diferentes. Esta diversidad incrementa la necesidad de contar con información continua sobre la calidad del agua de entrada y con procesos capaces de responder a variaciones dentro de márgenes conocidos.

La problemática de calidad no deberá atribuirse únicamente a la antigüedad de las plantas o a la infraestructura de conducción. Debe analizarse como el resultado de la interacción entre las condiciones de las fuentes, la protección de las cuencas, las aportaciones externas, la conducción, el tratamiento y la operación.

Evolución de los requerimientos de tratamiento.

Las plantas fueron concebidas conforme al conocimiento, las tecnologías y los requerimientos sanitarios disponibles en cada periodo. Conforme evolucionaron la regulación y la comprensión de los riesgos, aumentaron también las exigencias sobre el control de los procesos, la capacidad analítica, la instrumentación y la trazabilidad de la calidad.

La evolución tecnológica no significa que todos los procesos convencionales hayan dejado de ser funcionales. Significa que su desempeño deberá verificarse frente a las características actuales del agua cruda, los parámetros normativos,

las condiciones operativas y los escenarios de variabilidad que enfrenta cada planta.

La necesidad de adaptar o fortalecer un proceso deberá sustentarse en evidencia sobre la calidad de entrada y salida, la estabilidad del tratamiento, la capacidad para responder a eventos extraordinarios, la generación de residuos, el consumo energético, el mantenimiento y la confiabilidad de los equipos.

Incremento de la complejidad operativa.

La producción metropolitana requiere coordinar caudales de entrada, dosificación de productos químicos, unidades de proceso, lavado de filtros, manejo de lodos, bombeo, almacenamiento y entrega hacia las redes. Conforme el sistema creció, también aumentó la cantidad de decisiones necesarias para mantener equilibrada la producción entre instalaciones y responder a las variaciones de la demanda.

Esta complejidad hace indispensable contar con medición confiable, laboratorios, control de procesos, telemetría, registros históricos y personal especializado. La modernización de una planta no debe entenderse únicamente como la incorporación de obra civil o equipos, sino también como el fortalecimiento de su capacidad para conocer, controlar y documentar el desempeño.

La evaluación deberá considerar si las instalaciones pueden retirar unidades para mantenimiento sin comprometer significativamente la producción, si disponen de equipos de reserva, si los procesos cuentan con instrumentación suficiente y si la información generada permite anticipar desviaciones y responder oportunamente.

Concentración y distribución territorial de la producción.

La evolución del sistema también produjo una distribución desigual de la capacidad entre las distintas plantas. Algunas instalaciones concentran una proporción relevante de la producción metropolitana, mientras que otras cumplen funciones complementarias o atienden zonas específicas.

Esta configuración no es necesariamente inadecuada, pero incrementa la necesidad de evaluar la relevancia funcional de cada instalación, la existencia de capacidad alternativa y las consecuencias que tendría una disminución temporal de producción.

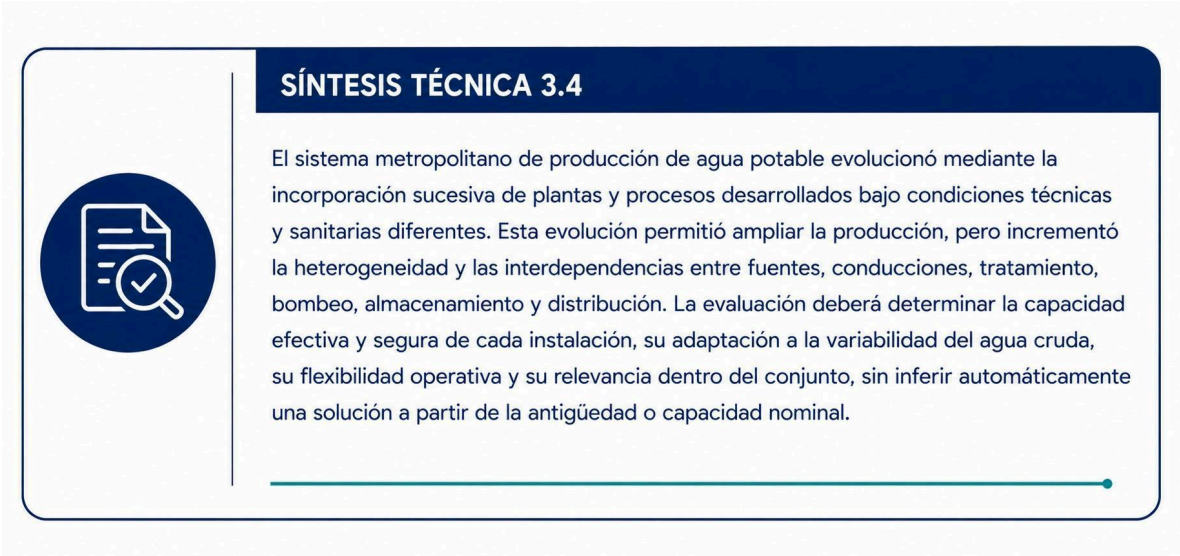
La capacidad instalada deberá contrastarse con la producción efectiva, la confiabilidad, los periodos de mantenimiento, la disponibilidad de las fuentes y las posibilidades reales de redistribuir caudales. Una planta de menor capacidad puede aportar flexibilidad territorial relevante, mientras que una instalación de gran escala puede concentrar dependencias que requieran márgenes adicionales de respaldo.

Interpretación de la evolución del sistema.

La evolución del sistema metropolitano de producción permitió acompañar el crecimiento de la ciudad y atender requerimientos sanitarios progresivamente más exigentes. Al mismo tiempo, generó un conjunto de instalaciones con diferencias de edad, tecnología, capacidad, condición y flexibilidad operativa.

Esta heterogeneidad hace necesario abandonar evaluaciones basadas exclusivamente en la antigüedad o en el volumen nominal de cada planta. El diagnóstico deberá determinar si los procesos conservan la capacidad para tratar las características actuales del agua cruda, mantener la calidad requerida, realizar mantenimiento, responder a contingencias y operar de manera coordinada con el resto del sistema.

La evolución documentada justifica una evaluación integral de las plantas y de sus procesos, pero no determina por sí misma la reconversión, ampliación o sustitución de una instalación. Estas decisiones deberán derivarse de la condición, desempeño, relevancia funcional, adaptabilidad tecnológica y comparación de alternativas.



3.4.2 Variabilidad del agua cruda y capacidad de adaptación de los procesos de potabilización

La variabilidad del agua cruda constituye una condición inherente a los sistemas de abastecimiento que integran fuentes superficiales y subterráneas sujetas a cambios hidrológicos, ambientales y territoriales. Las características del agua que ingresa a las plantas potabilizadoras pueden modificarse por efecto de las lluvias, los escurrimientos, la erosión, el transporte de sedimentos, la actividad biológica, las transformaciones de las cuencas, las aportaciones externas y las condiciones bajo las cuales se realiza la captación y conducción.

Esta variabilidad no representa por sí misma una deficiencia del sistema. El aspecto relevante consiste en determinar si las plantas disponen de suficiente capacidad para identificar oportunamente los cambios, ajustar la operación y mantener de manera estable la calidad del agua producida, incluso durante

eventos que modifiquen significativamente las condiciones ordinarias de tratamiento.

La evaluación deberá adoptar una perspectiva preventiva desde la fuente hasta el consumidor. Las directrices de la Organización Mundial de la Salud establecen que la protección del agua potable requiere gestionar los riesgos a lo largo de toda la cadena, desde la cuenca y la captación hasta el tratamiento, almacenamiento y distribución, mediante barreras sucesivas de control, monitoreo operacional y vigilancia independiente (OMS, 2026).

En el ámbito nacional, la NOM-127-SSA1-2021 establece los límites permisibles de calidad que debe cumplir el agua para uso y consumo humano, mientras que la NOM-179-SSA1-2020 establece las disposiciones sanitarias que deben observar los organismos responsables para mantener y controlar esa calidad dentro de los sistemas de abastecimiento. En consecuencia, la seguridad sanitaria no depende únicamente del tratamiento dentro de la planta, sino de la capacidad para conservar la calidad durante la regulación y distribución (Secretaría de Salud, 2020; 2022).

Relación entre las fuentes, la conducción y el tratamiento.

El sistema metropolitano recibe agua de fuentes y sistemas de conducción con características diferentes. Esta configuración puede generar variaciones en parámetros físicos, químicos, microbiológicos y organolépticos que modifican las exigencias sobre la coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

El análisis no deberá atribuir la variabilidad exclusivamente a la antigüedad de las plantas o a la infraestructura de conducción. Deberá considerar conjuntamente la calidad de las fuentes, las condiciones de las cuencas, los cambios estacionales, los posibles aportes externos, las descargas no autorizadas, el transporte de sedimentos, la operación de las conducciones y la capacidad de respuesta de los procesos de tratamiento.

Esta precisión es importante porque una estrategia concentrada únicamente en fortalecer las plantas sería insuficiente si no se acompaña de acciones orientadas a proteger las fuentes, vigilar las cuencas, identificar aportaciones contaminantes y mejorar el conocimiento sobre la evolución de la calidad del agua cruda. La gestión preventiva requiere combinar control en el origen, monitoreo durante la conducción y barreras adecuadas de potabilización.

En el caso de la Planta Potabilizadora No. 1 Miravalle, la documentación técnica institucional disponible reporta antecedentes relacionados con variaciones de color, olor, turbiedad, nitrógeno amoniacal e indicadores microbiológicos en el agua cruda. También señala que la instalación opera mediante un proceso convencional desarrollado y ampliado en diferentes etapas. Estas referencias constituyen antecedentes para orientar el diagnóstico, pero deberán corroborarse mediante información analítica, operativa e hidrológica actualizada.

No deberán trasladarse al documento expresiones generales como “agua más contaminada” o “proceso insuficiente” sin identificar los parámetros que sustentan esa interpretación, su comportamiento temporal, frecuencia, magnitud y efectos sobre la operación. El diagnóstico deberá distinguir entre variaciones ordinarias, eventos extraordinarios, afectaciones organolépticas, desviaciones operativas, incumplimientos normativos y condiciones que reducen los márgenes de estabilidad o flexibilidad del tratamiento.

Capacidad de adaptación y robustez de los procesos.

La capacidad de adaptación de una planta potabilizadora consiste en mantener un desempeño estable ante cambios previsibles o extraordinarios en la calidad del agua de entrada. Esta capacidad depende tanto de la configuración física del tratamiento como de la operación, el laboratorio, la instrumentación, el mantenimiento, la disponibilidad de insumos, el manejo de residuos y la experiencia del personal.

Una planta puede disponer de capacidad hidráulica suficiente y, al mismo tiempo, contar con márgenes limitados para responder a variaciones rápidas de turbiedad, color, materia orgánica, olor o carga microbiológica. De manera inversa, un proceso convencional correctamente operado, instrumentado y mantenido puede conservar un desempeño adecuado dentro de un rango amplio de condiciones.

Por ello, la evaluación no deberá partir de la premisa de que toda instalación antigua requiere automáticamente la incorporación de procesos avanzados. Será necesario determinar si las barreras existentes continúan siendo suficientes, si operan dentro de márgenes aceptables, cuáles son las desviaciones observadas y qué capacidad existe para ajustar la operación ante cambios en el agua de entrada.

La robustez del tratamiento deberá analizarse no sólo mediante valores promedio, sino también durante periodos de lluvia, eventos de mayor arrastre, variaciones en la fuente, actividades de mantenimiento, indisponibilidad temporal de unidades o fallas electromecánicas. Una instalación resiliente debe conservar la capacidad de producir agua segura aun cuando las condiciones se aparten temporalmente de la operación ordinaria.

Cumplimiento, estabilidad y resiliencia sanitaria.

El cumplimiento normativo constituye una condición indispensable, pero no agota la evaluación del sistema de producción. Una planta puede cumplir con los límites aplicables y, al mismo tiempo, operar con escasa flexibilidad, elevada dependencia de determinadas unidades, consumos crecientes de reactivos, dificultades para realizar mantenimiento o capacidad limitada para responder a eventos extraordinarios.

La información institucional disponible para Miravalle señala cumplimiento del agua producida y, simultáneamente, documenta antecedentes relacionados con color, olor y turbiedad, además de analizar posibles mejoras en los procesos. Estas condiciones no son necesariamente contradictorias: el cumplimiento

registrado en determinados periodos no elimina la necesidad de evaluar la estabilidad del tratamiento, su capacidad de respuesta y los márgenes operativos disponibles.

La evaluación deberá sustentarse en series históricas que permitan relacionar la calidad del agua cruda con la operación de los procesos y la calidad final. Los resultados deberán identificar claramente los puntos de muestreo, fechas, condiciones hidrológicas, métodos analíticos, frecuencia de eventos y comportamiento de las distintas unidades de tratamiento.

Cuando no sea posible demostrar con suficiente certeza la frecuencia, magnitud o causa de una variación, deberá registrarse como un vacío de información. En estos casos, la respuesta inicial puede consistir en fortalecer el monitoreo, realizar pruebas de tratabilidad o mejorar la integración de los registros antes de definir modificaciones físicas de mayor alcance.

Control operacional y capacidad analítica.

La adaptación de los procesos requiere información oportuna sobre el agua que ingresa, las variables de cada etapa y la calidad obtenida después de las principales barreras de tratamiento. El muestreo final permite comprobar el resultado, pero no siempre proporciona tiempo suficiente para corregir una desviación durante el proceso.

Por esta razón, deberá evaluarse la integración entre laboratorios, instrumentación continua, pruebas de tratabilidad, registros operativos, sistemas de control y protocolos para ajustar la dosificación y el funcionamiento de las unidades. También deberá analizarse la trazabilidad de los datos, la calibración de los instrumentos y la posibilidad de relacionar las variaciones observadas con cambios en las fuentes o en las condiciones de conducción.

El fortalecimiento tecnológico no deberá limitarse a incorporar nuevas unidades de tratamiento. Puede comprender también mejoras en la capacidad analítica,

automatización, monitoreo continuo, control de dosificación, mantenimiento, respaldo electromecánico, gestión de reactivos y capacitación del personal.

Manejo de lodos, agua de proceso y eficiencia operativa.

La capacidad de adaptación del sistema de producción también depende del manejo de los lodos y corrientes generadas durante la coagulación, sedimentación, lavado de filtros y demás operaciones. Estos procesos influyen en la eficiencia hídrica, el desempeño ambiental, los costos de operación y la posibilidad de mantener las unidades disponibles.

La evaluación deberá determinar si la infraestructura existente permite recolectar, tratar y disponer adecuadamente estos residuos, así como recuperar agua de proceso cuando resulte técnica y sanitariamente viable. Las necesidades de fortalecimiento podrán incluir optimización de purgas, rehabilitación de sistemas existentes, incorporación de procesos de espesamiento o deshidratación y mejoras en la medición y control.

Estas acciones deberán analizarse como parte integral del desempeño de la planta y no únicamente como obras complementarias.

Orientación hacia conceptos de intervención.

Los resultados del diagnóstico podrán orientar distintos conceptos de actuación. En algunos casos, las necesidades podrán atenderse mediante optimización operativa, mantenimiento, rehabilitación de unidades, actualización de equipos, fortalecimiento del laboratorio o incorporación de instrumentación y automatización. En otros, la evidencia podría justificar el análisis de barreras complementarias, reconfiguración de procesos, nuevos trenes de tratamiento o una modernización integral y progresiva de la instalación.

Para la Planta Potabilizadora No. 1 Miravalle, la información disponible permite orientar la evaluación hacia un concepto de reconversión progresiva de la capacidad de tratamiento. Esta expresión no deberá entenderse todavía como un proyecto definido, sino como un marco de alternativas destinado a fortalecer la adaptación tecnológica, la continuidad operativa, el manejo de lodos, la instrumentación y la resiliencia del tratamiento.

La documentación de ingeniería existente ha analizado alternativas como la optimización de la coagulación y floculación, la clarificación de alta tasa, la oxidación con ozono, la filtración con carbón activado, la incorporación de nuevas unidades y el fortalecimiento del manejo de lodos. Estas configuraciones constituyen opciones previamente estudiadas y permiten conocer su posible lógica técnica, pero deberán comprobarse mediante pruebas de tratabilidad, actualización de la calidad del agua cruda, evaluación de compatibilidad con la infraestructura existente y comparación del ciclo de vida.

La selección de un concepto deberá responder a una relación trazable:

riesgo o restricción documentada → capacidad que debe fortalecerse → alternativas técnicas → comparación de desempeño y ciclo de vida → desarrollo del concepto seleccionado

Sólo después de completar esta secuencia corresponderá definir alcances de ingeniería, etapas, tecnologías, capacidades, costos y programación.

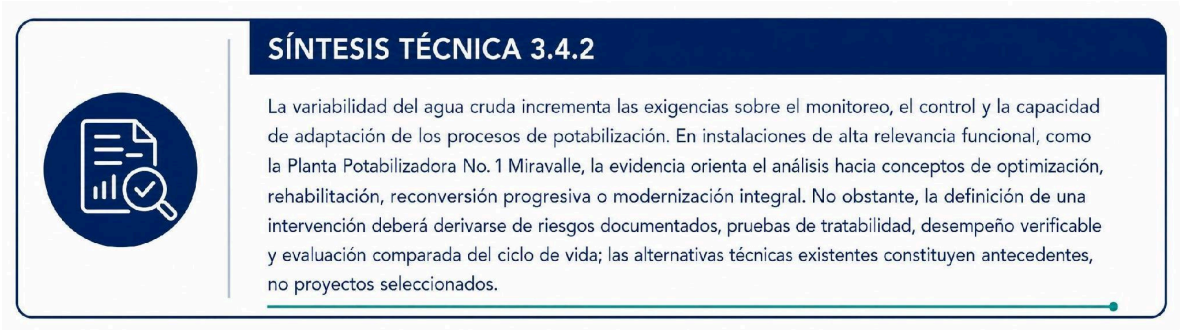
Implicación para la toma de decisiones.

La evidencia disponible permite reconocer que la variabilidad del agua cruda, la evolución de las exigencias sanitarias y la relevancia funcional de determinadas plantas requieren fortalecer la capacidad de adaptación del sistema metropolitano de producción.

En Miravalle, la evaluación deberá determinar si los procesos actuales mantienen suficiente estabilidad y flexibilidad frente a las condiciones del agua de entrada, si las unidades permiten realizar mantenimiento sin comprometer de manera significativa la producción y si la instrumentación, el control, el manejo de lodos y la infraestructura electromecánica responden adecuadamente a las necesidades presentes.

Los resultados podrán orientar conceptos de optimización, rehabilitación, incorporación de barreras complementarias, reconversión progresiva o modernización integral. Sin embargo, estas denominaciones deberán conservarse como conceptos sujetos a evaluación, y no como proyectos definidos o decisiones adoptadas.

La madurez de la documentación de ingeniería existente deberá considerarse al comparar alternativas, pero no sustituirá la verificación del diagnóstico, las pruebas de tratabilidad ni la evaluación sanitaria, operativa, energética, ambiental, institucional y económica.



3.4.3 Concentración y distribución territorial de la capacidad de producción

La capacidad metropolitana de producción de agua potable no debe evaluarse únicamente mediante la suma de las capacidades nominales de las plantas. Para conocer la disponibilidad real del sistema es necesario distinguir entre la capacidad instalada, la capacidad efectiva bajo las condiciones actuales de operación y la capacidad de producción segura que puede mantenerse de

forma continua, cumpliendo los criterios de calidad y conservando márgenes suficientes para mantenimiento y contingencias.

Esta diferenciación resulta especialmente importante en instalaciones que fueron desarrolladas y ampliadas en diferentes etapas. La capacidad nominal puede representar el potencial físico de las unidades, pero no necesariamente el caudal que puede sostenerse cuando se consideran la disponibilidad de las fuentes, la calidad del agua cruda, las unidades temporalmente fuera de operación, el lavado de filtros, el manejo de lodos, las restricciones electromecánicas, el consumo energético y los requerimientos de mantenimiento.

Concentración funcional de la producción.

La Planta Potabilizadora No. 1 Miravalle constituye el principal componente del sistema metropolitano de producción. La cronología institucional del SIAPA documenta que inició operaciones en 1956 con una capacidad inicial de 1 m^3/s y que, mediante ampliaciones sucesivas, alcanzó una capacidad nominal instalada reportada de 9 m^3/s.

La información técnica actualizada proporcionada para estas Bases reporta una producción promedio de entre 5.5 y 5.7 m^3/s y una contribución aproximada de 55 a 60 % del agua potable suministrada a la Zona Metropolitana de Guadalajara. Estos valores confirman su alta relevancia funcional y muestran, al mismo tiempo, la necesidad de diferenciar entre capacidad instalada y producción efectiva.

La concentración de una proporción significativa de la producción en una sola instalación no constituye por sí misma una deficiencia. Las plantas de gran escala pueden aportar eficiencia operativa, especialización técnica y economías de operación. Sin embargo, esta configuración incrementa las consecuencias que tendría una reducción parcial de capacidad, una intervención prolongada

de mantenimiento o una contingencia en la fuente, conducción, tratamiento, energía o bombeo asociados.

Por ello, la relevancia de Miravalle no deberá utilizarse únicamente para justificar un incremento de capacidad o una transformación predeterminada. Deberá orientar el análisis hacia la necesidad de fortalecer su confiabilidad, capacidad de adaptación, mantenimiento, redundancia interna, control operacional y posibilidad de realizar intervenciones progresivas sin comprometer significativamente la producción metropolitana.

Distribución de la capacidad entre las plantas.

El sistema metropolitano cuenta con otras instalaciones que complementan la producción y que fueron incorporadas en diferentes etapas para responder a la evolución de las fuentes, las conducciones y el crecimiento territorial. La documentación histórica del SIAPA reporta capacidades nominales de 3 m^3/s para la Planta Potabilizadora No. 2 Las Huertas y para la Planta Potabilizadora No. 3 San Gaspar. Estos valores deberán actualizarse y conciliarse con la producción efectiva, la disponibilidad real de las fuentes y las condiciones actuales de cada instalación.

La incorporación posterior de la Planta Potabilizadora No. 5 Los Agaves introduce una capacidad adicional en una posición territorial distinta dentro del sistema. La documentación institucional registra antecedentes de integración hidráulica, ampliación y fortalecimiento de esta instalación, pero dichos antecedentes deberán analizarse como conceptos en desarrollo y no como alcances definitivamente aprobados.

La contribución de las plantas de menor escala no deberá valorarse exclusivamente por el caudal que producen. Su ubicación, relación con fuentes distintas, capacidad para atender determinadas zonas y posibilidad de modificar

temporalmente la distribución de la producción pueden aportar flexibilidad operativa al sistema.

En consecuencia, una planta con menor capacidad nominal puede desempeñar una función relevante si reduce distancias de conducción, disminuye requerimientos de bombeo, permite atender una zona de crecimiento, facilita el mantenimiento de otra instalación o proporciona respaldo parcial durante una contingencia.

Equilibrio territorial y flexibilidad operativa.

El equilibrio territorial no significa distribuir la producción de manera uniforme entre las distintas plantas. Significa contar con una configuración capaz de relacionar adecuadamente las fuentes, la infraestructura de conducción, la producción, el almacenamiento y las zonas de demanda, reduciendo dependencias que limiten la capacidad de respuesta del conjunto.

La evaluación deberá determinar si la ubicación y capacidad efectiva de las plantas permiten modificar la operación cuando una fuente, conducción o instalación reduce temporalmente su disponibilidad. También deberá examinarse si las redes primarias, tanques, bombeos e interconexiones permiten trasladar la producción hacia zonas distintas de las atendidas ordinariamente.

La existencia de capacidad disponible en una planta no representa un respaldo efectivo cuando las fuentes, conducciones o redes no permiten incorporarla al sistema en el lugar y momento requeridos. Por ello, la flexibilidad de la producción deberá analizarse de manera conjunta con la integración hidráulica y no como una característica aislada de cada planta.

Capacidad instalada, efectiva y segura.

Para evitar interpretaciones imprecisas, el diagnóstico deberá emplear tres conceptos diferenciados:

La capacidad instalada corresponde a la capacidad nominal resultante de la configuración física y de diseño de las unidades. La capacidad efectiva representa el caudal que puede producirse en las condiciones reales de disponibilidad de agua cruda, estado de los procesos, equipos, energía y operación. La capacidad de producción segura corresponde al caudal que puede sostenerse manteniendo la calidad requerida, los márgenes de control, el mantenimiento y la respuesta ante variaciones y contingencias.

Esta distinción deberá aplicarse a todas las plantas. Utilizar únicamente la capacidad instalada puede sobreestimar la disponibilidad real; emplear sólo el promedio de producción puede ocultar márgenes disponibles o restricciones temporales; y considerar únicamente el cumplimiento normativo no permite conocer la resiliencia del sistema ante condiciones diferentes de las ordinarias.

La caracterización deberá construirse con una misma fecha de corte y una metodología homogénea. Mientras no se concilien los datos de producción, capacidad, disponibilidad y mantenimiento, las cifras históricas deberán presentarse como antecedentes y no como valores directamente comparables.

Orientación hacia conceptos de actuación.

La evidencia permite orientar el análisis hacia un fortalecimiento progresivo y territorialmente articulado del sistema de producción. Este fortalecimiento puede comprender conceptos distintos y complementarios.

En la Planta Potabilizadora No. 1 Miravalle, la alta concentración funcional y la evolución de las condiciones del agua cruda orientan la evaluación hacia conceptos de optimización, rehabilitación, incremento de redundancia interna,

fortalecimiento de procesos y reconversión progresiva de la capacidad de tratamiento.

En la Planta Potabilizadora No. 3 San Gaspar, los antecedentes de rehabilitación, mejora de filtros, sistemas de desinfección e ingeniería básica orientan el análisis hacia el fortalecimiento de su confiabilidad, adaptación tecnológica y posible aumento de su contribución funcional, sujeto a la disponibilidad de la fuente y a la integración con las conducciones.

En la Planta Potabilizadora No. 5 Los Agaves, la evaluación deberá analizar su capacidad para fortalecer la producción en la zona sur, mejorar la flexibilidad territorial e integrarse con diferentes configuraciones de abastecimiento. Estos conceptos no constituyen proyectos definidos; representan capacidades y alternativas que deberán compararse mediante evidencia actualizada.

De esta manera, la orientación técnica no consiste en declarar anticipadamente la ampliación o reconversión de una planta, sino en determinar qué combinación de optimización, rehabilitación, modernización, integración hidráulica o capacidad adicional permite reducir las dependencias del sistema y mejorar su respuesta ante mantenimiento, variabilidad o contingencias.

La evaluación requiere conciliar la capacidad nominal, producción promedio, producción máxima sostenible, disponibilidad de unidades, calidad del agua cruda, mantenimiento, consumo energético y zonas atendidas por cada planta. También será necesario conocer en qué medida la producción de una instalación puede sustituir o complementar temporalmente la de otra.

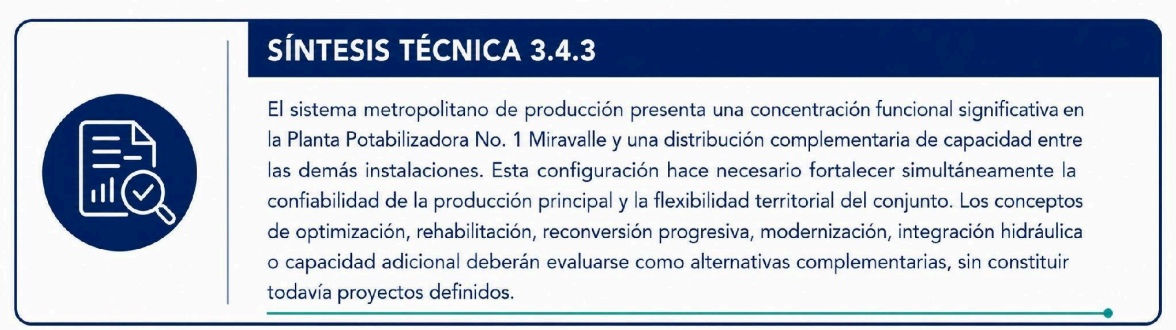
La ausencia de información homogénea constituye una brecha diagnóstica y deberá traducirse en un balance actualizado del sistema metropolitano de producción.

Implicación para la toma de decisiones.

La configuración actual muestra una alta relevancia funcional de Miravalle y una contribución complementaria de las demás plantas. Esta condición orienta la toma de decisiones hacia dos capacidades simultáneas: fortalecer la confiabilidad de la instalación que concentra la mayor producción y mejorar la flexibilidad territorial del conjunto.

Las alternativas deberán evaluarse por su capacidad para mantener la producción segura, facilitar el mantenimiento, responder a la variabilidad de las fuentes, reducir dependencias funcionales y mejorar la integración entre plantas, conducciones, tanques y zonas de demanda.

La documentación existente sobre reconversión, modernización, ampliación o integración hidráulica deberá utilizarse para conocer conceptos previamente estudiados y niveles de madurez técnica. No obstante, la definición de alcances, etapas, capacidades y tecnologías deberá derivarse de la conciliación de datos, la evaluación del sistema completo y la comparación del ciclo de vida.



3.4.4 Condición, desempeño y flexibilidad operativa de las instalaciones

La evaluación del sistema metropolitano de producción de agua potable debe diferenciar entre la existencia física de una instalación y su disponibilidad funcional. Una planta puede encontrarse en operación y conservar su capacidad nominal, pero presentar restricciones que reduzcan el caudal efectivamente disponible, dificulten el mantenimiento, incrementen el consumo de energía o

limiten la capacidad para responder ante variaciones en la calidad del agua cruda.

Por esta razón, la condición de las plantas no deberá determinarse únicamente mediante su antigüedad, el número de unidades existentes o el volumen promedio producido. Será necesario analizar de manera integrada el estado de las estructuras civiles, los procesos de tratamiento, la infraestructura hidráulica y electromecánica, la instrumentación, los laboratorios, los sistemas de suministro de reactivos, el manejo de lodos y las capacidades institucionales requeridas para operar y conservar el conjunto.

Desde la perspectiva de la gestión de activos, el objetivo no consiste solamente en mantener los componentes en funcionamiento, sino en asegurar que continúen desempeñando la función requerida con niveles aceptables de calidad, confiabilidad, seguridad y costo durante su ciclo de vida (ISO, 2024; AWWA, 2012).

Condición física y funcional de las unidades de proceso.

La evaluación de las plantas deberá considerar el estado físico de las estructuras de llegada, mezcla, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, almacenamiento y manejo de residuos, así como las tuberías, canales, válvulas y elementos auxiliares que permiten su operación.

La presencia de fisuras, corrosión, filtraciones, pérdida de recubrimientos, sedimentación, desgaste de componentes o reparaciones acumuladas puede afectar el desempeño, pero deberá documentarse mediante inspecciones, pruebas y registros verificables. La antigüedad constituye un criterio para orientar estas evaluaciones, no una evidencia suficiente de que una unidad ha perdido su capacidad de servicio.

También deberá determinarse si la configuración actual conserva

correspondencia con las condiciones bajo las cuales opera la planta. Una unidad puede mantener su integridad estructural y, al mismo tiempo, presentar limitaciones hidráulicas o funcionales derivadas de cambios en los caudales, en la calidad del agua cruda, en la secuencia del tratamiento o en las exigencias de control.

La condición deberá analizarse por proceso y no solamente mediante una calificación general de la instalación. Esto permitirá distinguir entre componentes que pueden conservarse mediante mantenimiento, unidades susceptibles de rehabilitación y elementos cuya modernización o reconfiguración debe ser evaluada.

Disponibilidad efectiva y capacidad para realizar mantenimiento.

La capacidad instalada no representa necesariamente la capacidad disponible durante todo el año. Las plantas requieren retirar unidades para limpieza, lavado, inspección, reparación o mantenimiento, y algunas operaciones reducen temporalmente la producción disponible.

La evaluación deberá determinar qué proporción de la capacidad puede mantenerse cuando una unidad relevante se encuentra fuera de servicio. Este análisis resulta especialmente importante en instalaciones que concentran una participación significativa de la producción metropolitana, debido a que una intervención prolongada puede repercutir sobre el almacenamiento, las presiones y la continuidad en diferentes zonas.

La flexibilidad no depende únicamente de disponer de varias unidades. Es necesario que éstas puedan aislarse, operarse en paralelo, recibir caudales compatibles y mantener la calidad requerida sin provocar sobrecargas en los procesos restantes. Una configuración aparentemente redundante puede no serlo si todas las unidades dependen de un mismo equipo, canal, sistema eléctrico, dosificación o componente de entrega.

Por ello, la programación del mantenimiento deberá relacionarse con la disponibilidad de las fuentes, los niveles de almacenamiento, la operación de otras plantas y la posibilidad de redistribuir temporalmente la producción.

Redundancia interna y componentes de función común.

La redundancia interna permite mantener una función cuando una unidad o equipo deja de estar disponible. En una planta potabilizadora puede existir en los trenes de tratamiento, bombas, dosificadores, sopladores, sistemas eléctricos, instrumentos, líneas de reactivos o equipos de laboratorio.

Sin embargo, la existencia de equipos múltiples no garantiza por sí misma una redundancia efectiva. Será necesario verificar si disponen de capacidad suficiente, si se encuentran funcionales, si pueden entrar en operación oportunamente y si no dependen de un componente común cuya falla afecte simultáneamente a todas las unidades.

La evaluación deberá prestar especial atención a los puntos únicos de falla. Entre ellos pueden encontrarse estructuras de llegada, líneas principales, subestaciones, tableros generales, sistemas de dosificación, equipos de bombeo, canales de distribución, laboratorios o plataformas de control.

La identificación de estos componentes permitirá orientar conceptos de fortalecimiento de la redundancia, pero no implica que todos requieran duplicación. Dependiendo de su función, podrán considerarse alternativas de rehabilitación, reequipamiento, respaldo temporal, modularidad, interconexión o modificación de los procedimientos operativos.

Infraestructura electromecánica, energética y de servicios auxiliares.

El desempeño de los procesos de potabilización depende de bombas, motores, tableros, transformadores, sistemas de dosificación, equipos de lavado,

compresores, válvulas y demás componentes electromecánicos. Una restricción en estos elementos puede reducir la capacidad efectiva aun cuando las estructuras civiles se encuentren en condiciones adecuadas.

La evaluación deberá relacionar la condición de los equipos con su punto real de operación, eficiencia, disponibilidad, mantenimiento, consumo energético y existencia de respaldo. También deberá considerar la antigüedad tecnológica, la disponibilidad de refacciones y la capacidad institucional para conservar o reparar los equipos.

La eficiencia energética no deberá analizarse exclusivamente como una oportunidad de ahorro. Un equipo operando fuera de su rango adecuado puede incrementar costos, reducir la confiabilidad y acelerar el desgaste. Por ello, las decisiones sobre rehabilitación, reequipamiento o modernización deberán considerar conjuntamente el desempeño hidráulico, energético y operativo.

Asimismo, las plantas dependen de servicios auxiliares como el suministro de energía, productos químicos, agua de lavado, aire, drenaje de procesos y comunicaciones. La confiabilidad de estos servicios forma parte de la capacidad de producción segura y debe incorporarse al diagnóstico.

Instrumentación, laboratorio y control operacional.

La operación estable requiere conocer oportunamente la calidad del agua cruda, el comportamiento de las unidades y la calidad obtenida después de las principales barreras de tratamiento.

La evaluación deberá determinar si la instrumentación disponible permite detectar variaciones, ajustar la dosificación, controlar niveles y caudales, identificar pérdidas de desempeño y conservar registros históricos. También será necesario verificar la calibración, mantenimiento, interoperabilidad y trazabilidad de los equipos.

El laboratorio representa una capacidad esencial para confirmar la calidad del agua y respaldar las decisiones operativas. Su evaluación deberá considerar no solamente la existencia de instalaciones y equipos, sino la cobertura analítica, los tiempos de respuesta, los controles de calidad, la conservación de registros y la coordinación con las áreas responsables de operar los procesos.

La automatización y el monitoreo en tiempo real pueden fortalecer la capacidad de respuesta, pero no sustituyen el criterio técnico del personal ni los procedimientos de operación. La modernización digital deberá orientarse a mejorar la comprensión y el control de los procesos, evitando incorporar sistemas que no puedan mantenerse, actualizarse o integrarse institucionalmente.

Manejo de lodos y corrientes de proceso.

El desempeño integral de una planta incluye la capacidad para manejar los residuos y corrientes generados durante la sedimentación, el lavado de filtros y otras operaciones. Una gestión insuficiente de lodos puede reducir la disponibilidad de las unidades, incrementar el consumo de agua, generar afectaciones ambientales y elevar los costos de operación.

La evaluación deberá determinar si las instalaciones existentes permiten recolectar, conducir, espesar, deshidratar, almacenar y disponer adecuadamente los lodos, así como recuperar agua de proceso cuando resulte técnica y sanitariamente viable.

Las necesidades identificadas podrán orientar conceptos de optimización, rehabilitación, ampliación o incorporación de nuevos procesos de manejo. No obstante, su definición deberá sustentarse en balances de masa, caracterización de los residuos, disponibilidad territorial, consumo energético y cumplimiento del marco aplicable.

Capacidades operativas y continuidad del conocimiento.

La condición y desempeño de las plantas no dependen exclusivamente de la infraestructura. También están vinculados con la disponibilidad de personal, procedimientos, capacitación, documentación, mantenimiento, control de inventarios y continuidad del conocimiento técnico.

La experiencia de los operadores permite responder a variaciones y contingencias que no siempre pueden resolverse mediante automatización. Sin embargo, cuando los procedimientos dependen principalmente del conocimiento no documentado de determinadas personas, existe un riesgo de pérdida de capacidad institucional.

Por ello, el diagnóstico deberá analizar la existencia y actualización de manuales, protocolos, registros de operación, programas de capacitación y mecanismos para conservar y transferir el conocimiento. Esta dimensión será retomada en el apartado transversal de capacidades institucionales.

Flexibilidad operativa del sistema de producción.

La flexibilidad operativa consiste en la capacidad del conjunto de plantas para modificar caudales, retirar unidades, redistribuir producción y responder a variaciones en las fuentes sin comprometer la calidad ni la continuidad.

Esta flexibilidad depende simultáneamente de la capacidad disponible dentro de cada instalación y de la integración hidráulica entre plantas, conducciones, tanques y redes. Una planta puede disponer de margen interno, pero no aportar respaldo efectivo si la infraestructura de conducción o distribución no permite trasladar su producción hacia las zonas requeridas.

En consecuencia, la evaluación deberá realizarse mediante escenarios de operación y no únicamente con valores promedio. Será necesario conocer cómo

responde el sistema frente a mantenimiento programado, reducción temporal de una fuente, indisponibilidad de una unidad, fallas eléctricas, eventos de calidad o variaciones en la demanda.

Este análisis permitirá distinguir entre capacidad nominal disponible, respaldo operativo parcial y flexibilidad real del sistema.

Orientación hacia conceptos de actuación.

La documentación técnica institucional consultada contiene antecedentes de fortalecimiento, modernización, rehabilitación, reconversión e incremento de capacidad en distintas instalaciones del sistema metropolitano. Estos antecedentes muestran que ya existen conceptos técnicos con diferentes niveles de desarrollo, pero no deben interpretarse como proyectos automáticamente seleccionados.

En Miravalle, la evaluación puede orientar conceptos relacionados con rehabilitación de unidades, fortalecimiento de la redundancia interna, modernización electromecánica y digital, mejoramiento del manejo de lodos y reconversión progresiva de los procesos.

En San Gaspar, los antecedentes pueden orientar la evaluación hacia la recuperación o fortalecimiento de capacidades existentes, mejora de filtros, confiabilidad de la desinfección, actualización de equipos y adaptación de los procesos a las características de la fuente.

En Los Agaves, el análisis puede considerar conceptos relacionados con optimización de la capacidad disponible, integración con distintas fuentes, fortalecimiento de la flexibilidad territorial y, cuando la evidencia lo sustente, evaluación de capacidad adicional.

Estas orientaciones no constituyen todavía una definición de alcance. Su propósito es vincular la condición documentada con familias de alternativas que posteriormente deberán compararse mediante criterios de desempeño, riesgo, compatibilidad, costo del ciclo de vida y madurez técnica.

Vacíos de información y necesidad de evaluación homogénea.

La principal limitación para comparar las plantas consiste en que la información sobre capacidad, producción, condición, mantenimiento, calidad, energía e instrumentación puede provenir de periodos o metodologías diferentes.

Por ello, deberá construirse una evaluación homogénea que permita distinguir, para cada instalación, la capacidad nominal, efectiva y segura; la disponibilidad de unidades; la condición de los procesos; los márgenes de mantenimiento; la redundancia interna; y las necesidades de adaptación.

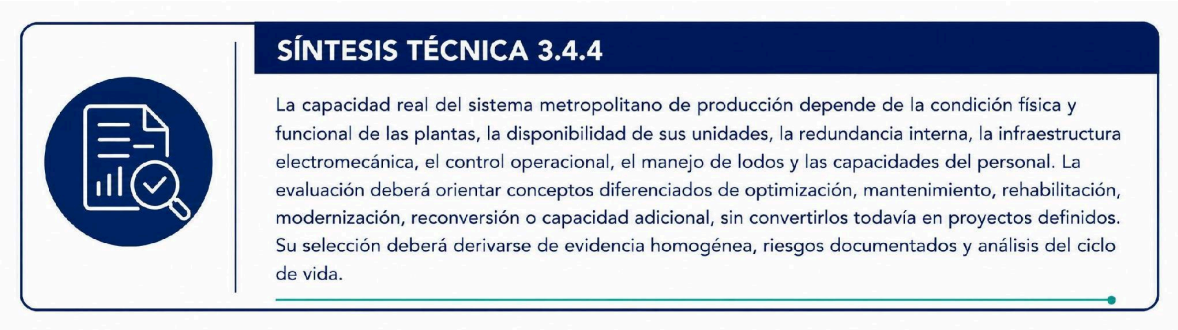
Mientras no se consolide esta información bajo una misma fecha de corte, las comparaciones deberán presentarse como preliminares. La ausencia de datos no deberá convertirse en una calificación desfavorable automática, sino registrarse como una brecha que requiere inspección, medición o actualización documental.

Implicación para la toma de decisiones.

La condición y desempeño de las plantas deberán orientar decisiones diferenciadas. No todas las instalaciones requieren la misma acción ni todas las restricciones se resuelven mediante nueva infraestructura.

En algunos casos será suficiente optimizar la operación, fortalecer el mantenimiento o actualizar la instrumentación. En otros podrá ser necesario rehabilitar estructuras y equipos, incorporar redundancia, modificar procesos o evaluar una modernización de mayor alcance.

La decisión deberá mantener trazabilidad entre la restricción documentada, la capacidad por fortalecer, las alternativas disponibles y el resultado esperado. Los conceptos previamente estudiados aportan información sobre opciones y madurez técnica, pero no sustituyen la evaluación comparativa ni constituyen autorizaciones.



3.4.5 Restricciones y capacidades que requieren fortalecimiento

La evaluación del sistema metropolitano de producción de agua potable muestra que sus principales desafíos no pueden atribuirse exclusivamente a la antigüedad de una planta, a la capacidad nominal disponible o a la condición aislada de una unidad de proceso. Las restricciones se originan en la interacción entre la variabilidad del agua cruda, la heterogeneidad tecnológica de las instalaciones, la concentración funcional de la producción, los requerimientos de mantenimiento, la dependencia electromecánica y energética, la disponibilidad de información y la capacidad institucional para adaptar la operación.

En consecuencia, el diagnóstico no deberá concluir que una instalación requiere necesariamente una ampliación, reconversión o sustitución. Su función consiste en determinar qué capacidades del sistema deben fortalecerse y bajo qué condiciones deberán evaluarse posteriormente los distintos conceptos de actuación.

Adaptación a la variabilidad del agua cruda.

La primera restricción se relaciona con la necesidad de mantener un tratamiento estable frente a cambios en las características del agua de entrada. Las fuentes y conducciones que abastecen a las plantas presentan condiciones distintas y pueden experimentar variaciones estacionales, hidrológicas, ambientales y operativas que modifican las exigencias sobre los procesos de potabilización.

La documentación técnica disponible para instalaciones como la Planta Potabilizadora No. 1 Miravalle reporta antecedentes relacionados con cambios en parámetros físicos, químicos, microbiológicos y organolépticos del agua cruda. Sin embargo, la magnitud, frecuencia y evolución de estas variaciones deberá comprobarse mediante series históricas, criterios analíticos homogéneos y una fecha de corte claramente identificada (SIAPA, s. f.).

La capacidad que debe fortalecerse no consiste únicamente en incorporar nuevos procesos. Comprende también la vigilancia de las fuentes, el monitoreo del agua cruda, las pruebas de tratabilidad, la capacidad analítica de los laboratorios, el ajuste operacional, la instrumentación y la disponibilidad de barreras capaces de responder a los riesgos efectivamente documentados.

En este contexto, conceptos como optimización, rehabilitación, incorporación de barreras complementarias o reconversión progresiva podrán formar parte de la evaluación posterior. No obstante, su alcance y configuración deberán derivarse de la relación entre los riesgos identificados y la capacidad real de los procesos existentes.

Diferencia entre capacidad instalada, efectiva y segura.

Una segunda restricción deriva de la falta de una caracterización homogénea de la capacidad disponible en cada planta. Las cifras nominales reflejan la configuración de diseño, pero no necesariamente el caudal que puede producirse de manera sostenida cuando se consideran la calidad del agua

cruda, las unidades fuera de servicio, los lavados, el mantenimiento, la disponibilidad electromecánica, el manejo de lodos y los márgenes sanitarios.

Por ello, la suma de las capacidades instaladas no debe interpretarse automáticamente como la producción disponible del sistema. Tampoco el promedio producido representa por sí solo la capacidad máxima sostenible ni el respaldo que una planta puede proporcionar a otra.

La capacidad que debe fortalecerse consiste en contar con un balance metropolitano actualizado que permita distinguir, bajo una misma metodología y fecha de corte, la capacidad instalada, la capacidad efectiva y la capacidad de producción segura de cada instalación. Este balance deberá relacionarse con las fuentes, conducciones, tanques, zonas de demanda y posibilidades reales de redistribución. Sin esta conciliación, cualquier conclusión sobre déficit, suficiencia, ampliación o redistribución territorial podría ser cuestionada por utilizar valores no comparables.

Concentración funcional y flexibilidad del sistema.

La concentración de una proporción significativa de la producción en la Planta Potabilizadora No. 1 Miravalle incrementa su relevancia para la continuidad del abastecimiento. Esta configuración no constituye por sí misma una deficiencia, pero aumenta las consecuencias potenciales de una reducción prolongada de capacidad, una contingencia, una falla electromecánica o una intervención mayor de mantenimiento.

Al mismo tiempo, la existencia de otras plantas no garantiza automáticamente una sustitución equivalente de la producción. La capacidad de respaldo depende de la disponibilidad de las fuentes, la conducción, la localización de las plantas, las interconexiones, el almacenamiento y la posibilidad de trasladar los caudales hacia las zonas requeridas.

La capacidad por fortalecer es, por tanto, la flexibilidad del sistema metropolitano de producción. Esto implica mejorar la posibilidad de realizar mantenimiento, redistribuir caudales, aprovechar instalaciones complementarias, modificar temporalmente la operación y sostener la calidad y continuidad durante condiciones diferentes de las ordinarias.

Los conceptos de fortalecimiento podrán incluir redundancia interna, integración hidráulica, optimización de plantas complementarias o evaluación de capacidad adicional. Estas posibilidades deberán estudiarse como componentes de una configuración sistémica y no como proyectos independientes previamente seleccionados.

Condición y gestión del ciclo de vida de las instalaciones.

Las plantas están integradas por estructuras civiles, unidades de proceso, tuberías, válvulas, equipos electromecánicos, instalaciones eléctricas, laboratorios, sistemas de dosificación, instrumentación y componentes auxiliares que presentan edades y condiciones distintas.

La antigüedad constituye un indicador para orientar las inspecciones, pero no permite determinar por sí sola la acción requerida. La evaluación deberá relacionar la condición física y funcional con el desempeño, la criticidad, la frecuencia de fallas, la disponibilidad de mantenimiento y el costo de las alternativas durante el ciclo de vida (ISO, 2024; AWWA, 2012).

La restricción principal no consiste únicamente en la presencia de activos antiguos, sino en la posible ausencia de una gestión integral que permita conocer su condición, anticipar necesidades y diferenciar oportunamente entre mantenimiento, rehabilitación, modernización, renovación o sustitución.

La capacidad que debe fortalecerse es una gestión de activos basada en inventarios, inspecciones, indicadores de desempeño, historial de

mantenimiento, análisis de riesgos y programación plurianual. Este enfoque permitirá evitar tanto la sustitución prematura de componentes funcionales como la prolongación excesiva de activos que ya no ofrecen condiciones suficientes de confiabilidad.

Dependencia electromecánica, energética y digital.

El funcionamiento de las plantas depende de bombas, motores, tableros, transformadores, equipos de dosificación, sistemas de lavado, válvulas, instrumentación y suministro eléctrico. Una restricción en estos componentes puede reducir la capacidad efectiva aun cuando las estructuras y procesos principales se mantengan disponibles.

La información institucional reciente reconoce necesidades relacionadas con la seguridad energética, la eficiencia de los equipos, la telemetría y el control operacional. Sin embargo, los inventarios, consumos, estimaciones de ahorro y alternativas tecnológicas deberán conciliarse con mediciones, curvas reales de operación y registros oficiales antes de sustentar decisiones específicas (SIAPA, s. f.).

La capacidad por fortalecer comprende la confiabilidad electromecánica, la disponibilidad de equipos de reserva, la eficiencia energética, la protección eléctrica, la instrumentación, el monitoreo en tiempo real y la integración de la información en los procesos de operación y mantenimiento.

La modernización digital deberá evaluarse como una capacidad institucional y operativa, no como la simple adquisición de plataformas o equipos. Su valor dependerá de la interoperabilidad, trazabilidad, mantenimiento, propiedad de los datos, ciberseguridad y utilización efectiva de la información.

Manejo de lodos y eficiencia hídrica de los procesos.

El manejo de lodos, purgas y aguas de lavado forma parte del desempeño integral de la potabilización. Cuando estas corrientes no se administran adecuadamente pueden disminuir la disponibilidad de unidades, incrementar el consumo de agua, elevar los costos y generar riesgos ambientales.

La información disponible no permite todavía comparar homogéneamente la generación, tratamiento, disposición y posibles esquemas de recuperación de agua de proceso entre las diferentes plantas. La capacidad que debe fortalecerse consiste en incorporar balances de agua y masa, caracterizar los residuos, evaluar la infraestructura existente y determinar alternativas de optimización, rehabilitación o incorporación de procesos complementarios. Estas decisiones deberán considerar la calidad de los residuos, el consumo energético, el espacio disponible, la operación y el marco ambiental aplicable.

Información, conocimiento y continuidad técnica.

Una restricción transversal corresponde a la fragmentación de la información. Los datos de calidad, operación, mantenimiento, energía, producción, laboratorio y fallas pueden encontrarse en sistemas o áreas diferentes, dificultando la reconstrucción integral del desempeño de cada instalación.

La experiencia del personal operativo constituye un activo indispensable, pero no debe permanecer únicamente como conocimiento informal. La pérdida de personal especializado o la falta de procedimientos actualizados puede disminuir la capacidad para responder a variaciones y contingencias.

La capacidad por fortalecer incluye la integración de datos, la documentación de procesos, la actualización de manuales, la capacitación, la transferencia de conocimiento y la investigación aplicada. Estas funciones permitirán que las decisiones sobre operación y evolución tecnológica se sustenten en evidencia acumulada y no dependan exclusivamente de respuestas coyunturales.

Integración de las restricciones.

Las restricciones identificadas no operan de manera independiente. La variabilidad del agua cruda puede exigir mayores ajustes de operación; una instrumentación insuficiente puede retrasar su detección; la indisponibilidad de una unidad puede reducir los márgenes de producción; y la concentración funcional puede amplificar las consecuencias de una falla o mantenimiento prolongado.

Por ello, la respuesta no debe formularse como una suma de acciones aisladas. El fortalecimiento del sistema requiere una combinación progresiva de capacidades relacionadas con prevención, monitoreo, adaptación del tratamiento, gestión de activos, confiabilidad electromecánica, flexibilidad territorial, manejo de residuos y continuidad institucional.

Esta integración permitirá orientar conceptos de actuación sin convertirlos todavía en proyectos definidos. La optimización, rehabilitación, modernización, reconversión progresiva, integración hidráulica o incorporación de capacidad adicional deberán entenderse como familias de alternativas cuya pertinencia dependerá de la restricción que atienden, del desempeño esperado y de su compatibilidad con el sistema completo.

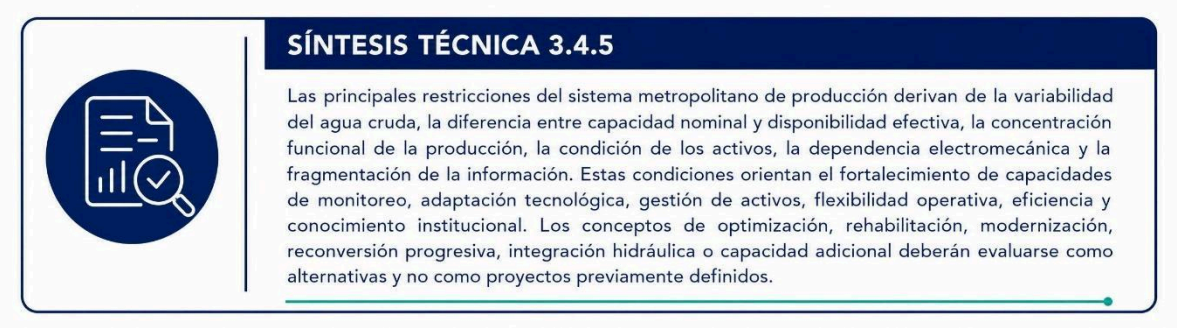
Implicación para la toma de decisiones.

La evaluación muestra que el sistema metropolitano de producción requiere fortalecer simultáneamente la confiabilidad de las instalaciones existentes y la capacidad del conjunto para adaptarse a variaciones, mantenimiento y contingencias.

Las decisiones posteriores deberán mantener una relación trazable entre la evidencia, la restricción identificada, la capacidad que debe fortalecerse y las alternativas disponibles. Una misma instalación podrá requerir acciones de diferente escala y temporalidad: desde mantenimiento, rehabilitación e

instrumentación hasta modificaciones de procesos o conceptos de modernización de mayor alcance.

La existencia de documentación de ingeniería deberá considerarse como evidencia de madurez de determinadas alternativas. No obstante, la definición de conceptos, alcances, tecnologías, capacidades y etapas deberá derivarse de una evaluación homogénea del sistema, pruebas técnicas, análisis sanitario, compatibilidad operativa y comparación del costo del ciclo de vida.



3.5 Evaluación técnica del sistema de abastecimiento complementario

El abastecimiento complementario comprende las fuentes, instalaciones y configuraciones operativas que permiten apoyar, diversificar o reforzar el suministro metropolitano cuando las fuentes principales presentan variaciones, requieren mantenimiento o no pueden responder por sí solas a determinadas condiciones territoriales y operativas.

Su carácter complementario no significa que se trate de infraestructura secundaria o de menor relevancia. Su valor depende de la función que desempeña dentro del sistema: proporcionar márgenes de maniobra, atender zonas específicas, distribuir las cargas de producción, facilitar intervenciones de mantenimiento y reducir las consecuencias asociadas a la dependencia de un número limitado de fuentes o conducciones.

La evaluación no deberá concentrarse únicamente en el volumen potencial que puede aportar cada fuente. Será necesario determinar si el agua puede captarse, conducirse, tratarse e incorporarse efectivamente a la distribución;

durante cuánto tiempo puede mantenerse esa aportación; bajo qué condiciones de calidad, energía y operación; y qué restricciones ambientales, jurídicas, territoriales o de infraestructura condicionan su aprovechamiento.

Desde esta perspectiva, una fuente disponible no constituye automáticamente una fuente funcional para el abastecimiento. Su contribución efectiva depende de la existencia y condición de pozos, captaciones, estaciones de bombeo, líneas de conducción, instalaciones de potabilización, interconexiones, tanques y redes capaces de trasladar el agua hacia las zonas donde se requiere.

La diversificación puede fortalecer la confiabilidad y resiliencia del sistema, pero no debe confundirse con la incorporación indiscriminada de nuevos aprovechamientos. Las decisiones deberán considerar la sostenibilidad de las fuentes, su calidad, disponibilidad temporal, compatibilidad con otros usos, requerimientos energéticos, capacidad de recuperación y efectos acumulativos sobre el territorio (UN-Water, 2013; OECD, 2015).

En el caso de las fuentes subterráneas, la evaluación deberá incorporar la disponibilidad hidrogeológica, los niveles piezométricos, la evolución de la extracción, la calidad del agua, los derechos aplicables y la capacidad de los pozos. La rehabilitación de infraestructura existente no deberá interpretarse automáticamente como autorización para incrementar la extracción; su finalidad puede consistir en recuperar eficiencia, seguridad y capacidad operativa dentro de los límites técnicos y administrativos correspondientes.

Para las fuentes superficiales complementarias, será necesario relacionar la disponibilidad del recurso con la variabilidad hidrológica, la calidad del agua, la infraestructura de conducción, el tratamiento requerido y la posibilidad real de integración con el sistema metropolitano.

El diagnóstico deberá distinguir entre fuentes utilizadas de manera permanente, aportaciones estacionales, reservas operativas y capacidades

disponibles para contingencias. Esta diferenciación permitirá evitar que una aportación temporal o condicionada sea presentada como una capacidad continua equivalente a la de una fuente principal.

La infraestructura electromecánica y energética constituye otra dimensión esencial. Los pozos y sistemas superficiales complementarios suelen depender de equipos de bombeo, motores, instalaciones eléctricas y sistemas de control cuyo desempeño influye directamente sobre la disponibilidad y el costo del agua suministrada. Por ello, la capacidad hidráulica deberá analizarse conjuntamente con la eficiencia energética, la redundancia de equipos, el mantenimiento y la instrumentación (ISO, 2024; AWWA, 2012).

El propósito de este apartado es determinar qué función desempeñan actualmente las fuentes complementarias, cuáles son sus márgenes reales de aportación, qué restricciones limitan su integración y qué capacidades requieren fortalecimiento. Los antecedentes de rehabilitación de pozos, integración de fuentes superficiales, modernización de bombeos o construcción de conducciones se utilizarán para orientar conceptos de actuación, pero no se presentarán como proyectos automáticamente definidos.

3.5.1 Evolución y función del abastecimiento complementario

El sistema metropolitano de abastecimiento evolucionó mediante la incorporación progresiva de fuentes superficiales y subterráneas que complementaron el suministro proveniente de los sistemas principales. Esta diversificación respondió al crecimiento urbano, a la expansión de las zonas atendidas y a la necesidad de disponer de mayores márgenes para gestionar variaciones en la disponibilidad y en las condiciones de operación.

La incorporación de fuentes complementarias no produjo un sistema homogéneo. Cada aprovechamiento fue desarrollado en un contexto técnico y

territorial particular y presenta diferencias de capacidad, calidad, profundidad, energía requerida, infraestructura asociada y relación con las zonas de demanda.

Como resultado, el abastecimiento complementario está integrado por componentes que pueden cumplir funciones distintas. Algunos aportan agua de manera ordinaria; otros atienden sectores específicos; y otros pueden proporcionar respaldo parcial durante mantenimientos, contingencias o reducciones temporales de las fuentes principales.

Esta función deberá comprobarse mediante registros de operación. La existencia física de una presa, pozo, estación o conducción no acredita por sí misma su disponibilidad funcional. Será necesario conocer su aportación efectiva, frecuencia de utilización, confiabilidad, calidad del agua, requerimientos de tratamiento, estado de los equipos y capacidad de incorporación a la red metropolitana.

Diversificación y reducción de dependencias.

La diversificación fortalece el sistema cuando permite disminuir las consecuencias derivadas de una interrupción o reducción de una fuente. Sin embargo, no es suficiente contar con diversas fuentes en el inventario; éstas deben estar hidráulicamente integradas y disponer de capacidad real para aportar agua en las condiciones y lugares requeridos.

Una fuente puede tener disponibilidad física y, al mismo tiempo, presentar limitaciones de conducción, bombeo, tratamiento o conexión con las zonas de servicio. En tales casos, su valor como respaldo será menor al volumen potencialmente disponible.

La diversificación deberá evaluarse mediante escenarios que determinen qué parte de la producción puede mantenerse si una fuente o conducción principal

reduce su capacidad, durante cuánto tiempo y con qué efectos sobre los restantes componentes. De esta manera será posible distinguir entre diversificación nominal y flexibilidad operativa efectiva.

Evolución de las fuentes superficiales complementarias.

Las fuentes superficiales complementarias fueron incorporándose conforme se desarrollaron nuevas obras de regulación, conducción y potabilización. Su contribución depende de la disponibilidad hidrológica, la calidad del agua, la infraestructura para transportarla y la capacidad de las plantas receptoras.

La presencia de agua almacenada no garantiza por sí sola su incorporación al abastecimiento. Será necesario comprobar la capacidad efectiva de captación, bombeo, conducción y tratamiento, así como la compatibilidad de la fuente con la infraestructura existente.

Los antecedentes técnicos relacionados con la integración de fuentes superficiales hacia instalaciones como las plantas potabilizadoras No. 3 y No. 5 muestran que existen conceptos de conexión e integración previamente estudiados. En estas Bases deberán utilizarse para analizar posibilidades de diversificación y equilibrio territorial, pero sin afirmar todavía que una conducción o configuración específica constituye la alternativa seleccionada.

La evaluación también deberá considerar la variabilidad temporal. Una fuente superficial puede aportar volúmenes relevantes durante determinados periodos y reducir su disponibilidad en otros. Por ello, deberá evitarse presentar su capacidad máxima como una aportación constante sin incorporar escenarios hidrológicos y reglas de operación.

Evolución de las fuentes subterráneas.

Los pozos han desempeñado una función relevante en la expansión territorial y

en la atención de zonas que no siempre podían abastecerse directamente desde las principales instalaciones superficiales. Su distribución les permite contribuir a la flexibilidad del sistema y, en determinados casos, proporcionar respaldo localizado.

No obstante, la aportación efectiva de los pozos puede modificarse por la evolución de los niveles de agua, la condición de la perforación, la incrustación, el deterioro del ademe, la calidad del agua y el desempeño de los equipos de bombeo. La reducción de caudal de un pozo no deberá atribuirse automáticamente a una sola causa. Será necesario diferenciar entre restricciones hidrogeológicas, deterioro físico, problemas electromecánicos, deficiencias de mantenimiento o limitaciones administrativas.

La rehabilitación de pozos puede recuperar parte de la capacidad perdida y mejorar la eficiencia, pero sus resultados deberán comprobarse mediante videograbación, aforos, pruebas de bombeo, análisis de calidad y evaluación del consumo energético. Asimismo, deberá verificarse que la operación resultante sea compatible con la disponibilidad y regulación aplicables.

La evidencia institucional sobre rehabilitación y reequipamiento de pozos constituye un antecedente para orientar conceptos de inspección, limpieza, recuperación física, sustitución de equipos y modernización del control. Sin embargo, no permite establecer de manera general que todos los pozos deban rehabilitarse ni que la recuperación estimada sea equivalente en todas las instalaciones.

Transformación de la función operativa.

En las primeras etapas de desarrollo, las fuentes complementarias pudieron entenderse principalmente como medios para incrementar la disponibilidad. En un sistema metropolitano más complejo, su función debe evaluarse también en términos de confiabilidad, flexibilidad, eficiencia y capacidad de respuesta.

Esto significa que el valor de una fuente no depende exclusivamente del volumen anual aportado. Una fuente de menor caudal puede resultar relevante si permite sostener el servicio en un sector crítico, reducir la presión sobre otra instalación, realizar mantenimiento o responder con rapidez ante una contingencia.

De forma paralela, una fuente de gran capacidad potencial puede aportar una flexibilidad limitada si requiere elevados consumos de energía, carece de infraestructura de conducción suficiente, presenta variaciones de calidad o no puede incorporarse a las zonas de demanda.

La evolución del abastecimiento complementario debe analizarse, por tanto, mediante la relación entre disponibilidad, ubicación, calidad, infraestructura, energía y función territorial.

Integración con el sistema metropolitano.

Las fuentes complementarias adquieren valor cuando pueden operar de forma coordinada con las conducciones, plantas, tanques y redes del sistema. Esta integración requiere conocer las capacidades de conexión, las condiciones de presión, las restricciones de tratamiento y las zonas a las que puede trasladarse la producción.

La incorporación de una fuente sin evaluar su relación con el sistema completo puede trasladar las restricciones hacia otro componente. Por ejemplo, un mayor caudal captado puede no traducirse en mayor suministro si la conducción, la planta potabilizadora, el bombeo o la red no disponen de capacidad suficiente.

En consecuencia, los conceptos de integración deberán evaluarse como configuraciones sistémicas. El análisis podrá considerar rehabilitación de pozos, modernización de bombeos, recuperación de capacidad, interconexión entre

fuentes y plantas o incorporación de nuevas líneas de conducción, pero deberá demostrar qué restricción se atiende y qué beneficio funcional se obtiene.
Orientación hacia conceptos de actuación

La evolución documentada orienta la atención hacia tres familias generales de conceptos. La primera corresponde a la recuperación y conservación de capacidades existentes, mediante inspección, mantenimiento, rehabilitación física y reequipamiento de pozos e instalaciones de bombeo. La segunda se relaciona con la modernización operativa y energética, mediante equipos eficientes, instrumentación, telemetría, protección eléctrica, control de caudales y presiones y fortalecimiento de la gestión del ciclo de vida.

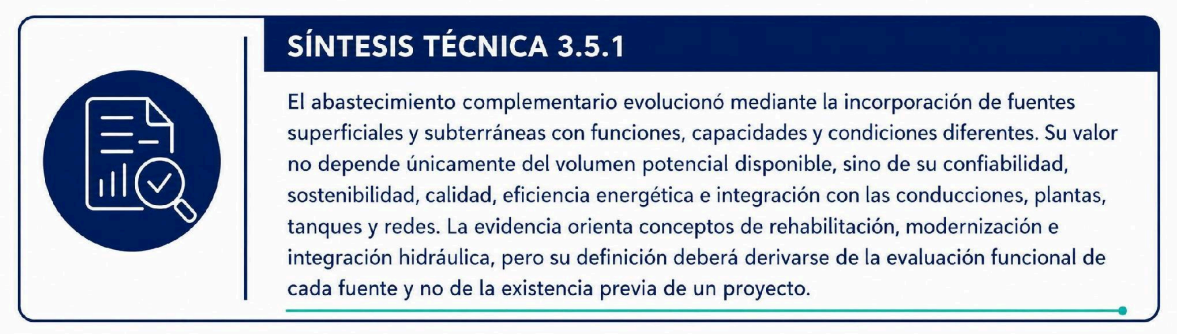
La tercera comprende la integración hidráulica de fuentes complementarias, mediante configuraciones que permitan trasladar agua hacia plantas y zonas donde pueda aportar flexibilidad, respaldo o equilibrio territorial.

Estas familias no constituyen proyectos definidos. Son conceptos que deberán evaluarse conforme a la disponibilidad real de las fuentes, su sostenibilidad, la infraestructura requerida, la calidad del agua, la demanda, el costo energético y la compatibilidad con el sistema metropolitano.

Implicación para la toma de decisiones.

La evaluación deberá determinar qué fuentes complementarias aportan actualmente al sistema, cuáles pueden recuperar capacidad mediante mantenimiento o rehabilitación, cuáles requieren modernización electromecánica y cuáles podrían integrarse mediante configuraciones diferentes. Las decisiones no deberán basarse únicamente en el volumen potencial de una fuente ni en la existencia previa de un proyecto. Deberán considerar su aportación efectiva, confiabilidad, sostenibilidad, calidad, energía, capacidad de integración y función frente a diferentes escenarios.

Los conceptos previamente estudiados de rehabilitación de pozos, integración de fuentes superficiales, modernización de bombeos o nuevas conducciones deberán valorarse por su madurez y correspondencia con las restricciones documentadas. La definición de sus alcances corresponderá a etapas posteriores de evaluación.



3.5.2 Evaluación de las fuentes superficiales complementarias

Las fuentes superficiales complementarias forman parte de una configuración regional en la que presas, cauces, canales, conducciones, estaciones de bombeo y plantas potabilizadoras se relacionan para incorporar agua al sistema metropolitano. Su contribución no depende únicamente del volumen almacenado en una presa, sino de la posibilidad real de captar, conducir, tratar y entregar el recurso con continuidad, calidad y costos compatibles con la operación del conjunto.

La evaluación deberá evitar dos interpretaciones simplificadas. La primera consiste en considerar que toda disponibilidad de agua superficial representa automáticamente una aportación efectiva al abastecimiento. La segunda es asumir que una fuente complementaria sólo tiene valor cuando incrementa de manera permanente el caudal total suministrado. Estas fuentes también pueden aportar flexibilidad, respaldo parcial, equilibrio territorial o capacidad para realizar mantenimiento en otros componentes del sistema.

Desde una perspectiva de seguridad hídrica, su valor deberá determinarse mediante la relación entre disponibilidad hidrológica, calidad del agua, infraestructura de conexión, capacidad de tratamiento, requerimientos energéticos, reglas de operación, compatibilidad con otros usos y capacidad de respuesta ante variaciones o contingencias (UN-Water, 2013; OECD, 2015).

Configuración regional de las fuentes superficiales.

La documentación técnica consultada muestra que el abastecimiento complementario se relaciona con un sistema regional integrado por las presas El Zapotillo, El Salto, La Red y Calderón, así como por infraestructura de conducción y tratamiento asociada a la Planta Potabilizadora No. 3 San Gaspar. Esta configuración permite analizar alternativas de integración y transferencia entre componentes, pero su capacidad efectiva deberá sustentarse en balances actualizados, condiciones reales de operación y disponibilidad hidrológica.

Los estudios y antecedentes desarrollados en años recientes incluyen análisis, proyectos ejecutivos y trabajos de preinversión relacionados con la conexión entre la Presa Calderón y la Planta Potabilizadora No. 3, además de documentación correspondiente al sistema Zapotillo–El Salto–La Red–Calderón. Estos elementos demuestran que existe un nivel previo de análisis y maduración técnica; sin embargo, su presencia en la documentación no acredita por sí misma que una configuración haya sido seleccionada, autorizada o programada definitivamente.

El diagnóstico deberá utilizar estos antecedentes para reconstruir las opciones estudiadas, identificar las capacidades que pretenden fortalecer y determinar qué información necesita actualizarse. No deberá convertir el nombre de una conducción o de un sistema en la conclusión automática del análisis.

Disponibilidad hidrológica y aportación efectiva.

La disponibilidad de una fuente superficial cambia en función de la precipitación, los escurrimientos, el almacenamiento, las extracciones, las reglas de operación y la relación con otras presas y usuarios. Por ello, la capacidad máxima de una obra no debe confundirse con el caudal que puede sostenerse de manera continua o con la aportación que puede incorporarse efectivamente al sistema metropolitano.

La evaluación deberá diferenciar entre volumen almacenado, disponibilidad técnica, volumen jurídicamente aprovechable, capacidad de conducción y aportación efectiva a la producción de agua potable. Estas categorías pueden presentar valores distintos y deberán documentarse bajo una misma fecha de corte.

También será necesario analizar la variabilidad interanual y estacional. Una fuente puede proporcionar una aportación relevante durante periodos favorables y reducir su contribución durante sequías, mantenimiento o cambios en las condiciones de operación. En consecuencia, su función deberá evaluarse mediante escenarios y no a partir de un único valor promedio o máximo.

La utilidad de una fuente complementaria deberá expresarse en términos de confiabilidad: qué volumen puede aportar, durante cuánto tiempo, con qué probabilidad, bajo qué condiciones y qué infraestructura debe permanecer disponible para que esa aportación llegue a los usuarios.

Calidad del agua y compatibilidad con los procesos de tratamiento.

La calidad del agua superficial puede variar por efecto de la dinámica de la cuenca, la temporada de lluvias, la erosión, el transporte de sedimentos, las actividades desarrolladas en el territorio y las condiciones de almacenamiento. Esta variabilidad modifica los requerimientos de potabilización y puede condicionar la compatibilidad entre una fuente y la planta que recibiría el agua.

Por ello, no será suficiente verificar que existe una conexión hidráulica posible. La evaluación deberá comprobar si la calidad del agua puede ser tratada de manera estable por los procesos existentes, si requiere ajustes operativos o si hace necesario analizar barreras complementarias. En el caso de la integración con la Planta Potabilizadora No. 3 San Gaspar, la documentación previa sobre rehabilitación de filtros, sistemas de desinfección, clarificación e ingeniería básica constituye un antecedente relevante para conocer las capacidades existentes y las mejoras ya estudiadas. Sin embargo, la definición de una mayor aportación deberá relacionarse con la disponibilidad de la fuente, la calidad del agua, la capacidad efectiva de la planta y la confiabilidad de la conducción.

La evaluación deberá sostenerse en series de calidad del agua cruda, pruebas de tratabilidad, capacidad real de los procesos y escenarios de operación. La mera existencia de una planta o de un proyecto de ampliación no acredita que pueda recibir cualquier caudal o calidad de agua sin modificaciones adicionales.

Integración hidráulica y equilibrio territorial.

La contribución de una fuente superficial complementaria depende de la infraestructura que permita trasladarla hasta una planta y, posteriormente, distribuir la producción hacia las zonas donde pueda generar un beneficio funcional.

Una configuración puede resultar técnicamente viable desde el punto de vista de la conducción, pero aportar una flexibilidad limitada si la planta, los tanques, las estaciones de bombeo o las redes no permiten trasladar el agua hacia las zonas de demanda. De manera inversa, una fuente de menor capacidad puede adquirir alta relevancia si mejora el abastecimiento de un sector que dispone de pocas alternativas.

Por ello, el análisis deberá abarcar la cadena completa:

fuente → captación → bombeo y conducción → potabilización → regulación → distribución

La evaluación del equilibrio territorial no buscará distribuir la producción uniformemente. Su objetivo será determinar si la configuración de fuentes y plantas reduce dependencias, mejora los márgenes de maniobra y permite responder con mayor flexibilidad ante mantenimiento o contingencias.

La Calera como componente de integración con la zona sur.

La Presa La Calera forma parte del sistema histórico de abastecimiento y ha sido objeto de trabajos de rehabilitación, desazolve, conservación de estructuras, adecuación de canales y desarrollo de documentación para su operación integral. La información institucional también registra una configuración de bombeo y conducción hacia la Planta Potabilizadora No. 5 Los Agaves.

Estos antecedentes permiten orientar la evaluación hacia un concepto de integración hidráulica de La Calera con la capacidad de producción y distribución de la zona sur. No obstante, este concepto no deberá presentarse como un proyecto cerrado dentro de las Bases Técnicas.

El diagnóstico deberá determinar la aportación realmente disponible en la presa, su comportamiento hidrológico, la calidad del agua, las condiciones de captación, la capacidad efectiva de bombeo y conducción, la compatibilidad con la Planta Potabilizadora No. 5 y la posibilidad de distribuir el agua hacia las zonas requeridas.

También deberá valorar la función que conserva La Calera dentro del sistema histórico y las relaciones que mantiene con otros usos y procesos hidráulicos. Una configuración orientada al abastecimiento urbano no deberá analizarse de manera aislada de esas funciones.

La documentación disponible acredita que existe ingeniería y obra desarrollada en torno a la conexión La Calera–PP5, pero no sustituye la necesidad de comprobar integralmente su desempeño, su disponibilidad y el beneficio sistémico que puede aportar.

Calderón y la integración con la Planta Potabilizadora No. 3.

La Presa Calderón constituye otro componente relevante dentro de la configuración superficial complementaria. La documentación consultada registra estudios y proyectos para fortalecer su conexión con la Planta Potabilizadora No. 3 San Gaspar y para analizar su relación con las presas La Red, El Salto y El Zapotillo.

En las Bases Técnicas, esta información deberá orientar un concepto de fortalecimiento de la integración Calderón–San Gaspar y del sistema regional de presas, sin afirmar todavía una longitud, capacidad, trazo o solución constructiva definitiva.

La evaluación deberá responder si la configuración propuesta:

- ✔ incrementa efectivamente la diversificación;
- ✔ proporciona respaldo durante contingencias o mantenimiento;
- ✔ mejora el aprovechamiento de la capacidad disponible en San Gaspar;
- ✔ conserva condiciones adecuadas de calidad;
- ✔ y puede operar de manera sostenible bajo distintos escenarios hidrológicos.

Estas preguntas deberán resolverse mediante modelación hidráulica, balances de disponibilidad, análisis de calidad, evaluación de la infraestructura existente y comparación de configuraciones.

Madurez técnica y actualización de los antecedentes.

Las fuentes superficiales complementarias presentan distintos niveles de madurez documental. En algunos casos existen estudios de preinversión, ingeniería básica, proyectos ejecutivos y obras ya realizadas; en otros, la información permanece en etapas conceptuales o requiere conciliación.

El nivel de madurez es un criterio relevante para la toma de decisiones porque permite conocer el tiempo, costo e información necesarios para desarrollar una alternativa. No obstante, no debe confundirse con conveniencia técnica definitiva.

Un proyecto ejecutivo elaborado bajo condiciones anteriores puede requerir actualización por cambios en disponibilidad, calidad, demanda, costos, normas, condiciones territoriales o infraestructura construida posteriormente. Del mismo modo, una alternativa menos desarrollada documentalmente no debe descartarse automáticamente cuando pueda responder mejor a las restricciones actuales. La comparación deberá considerar simultáneamente la pertinencia de la alternativa, su madurez técnica y la vigencia de sus supuestos.

Orientación hacia conceptos de actuación.

La evidencia revisada permite orientar el análisis hacia dos grandes conceptos complementarios:

- ✔ la integración de la Presa La Calera con la producción y distribución de la zona sur;
- ✔ y el fortalecimiento de la relación entre la Presa Calderón, la Planta Potabilizadora No. 3 y el sistema regional de presas.

Estos conceptos no deberán formularse todavía como proyectos definitivos. Representan configuraciones cuya pertinencia deberá comprobarse con base en la disponibilidad real del agua, la capacidad de conducción y tratamiento, la calidad, la eficiencia energética, la integración territorial y el desempeño esperado durante condiciones ordinarias y de contingencia.

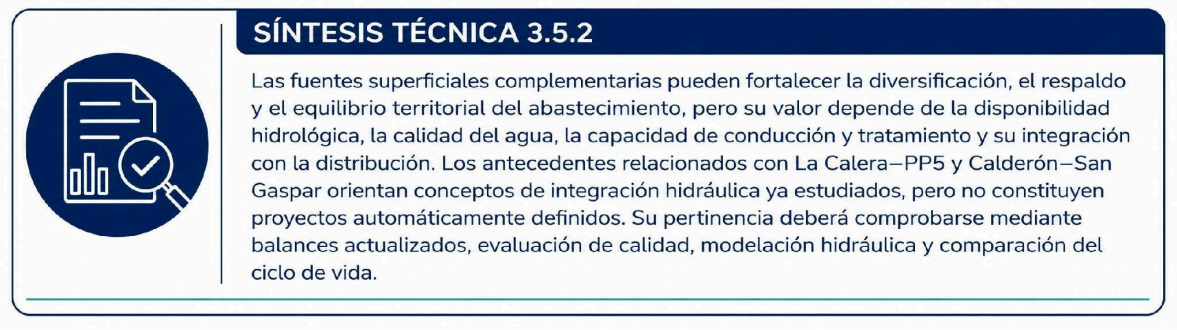
Las soluciones podrán incluir rehabilitación de componentes existentes, fortalecimiento de bombeos, adecuación de conducciones, incremento de instrumentación, aprovechamiento de infraestructura desarrollada o incorporación de nuevos elementos. Su definición deberá derivarse de la evaluación comparada y no del nombre histórico de una alternativa.

Implicación para la toma de decisiones.

La evaluación de las fuentes superficiales complementarias deberá determinar qué configuraciones aportan una diversificación real y no únicamente nominal. Una alternativa será funcionalmente relevante cuando pueda sostener una aportación verificable, integrarse con los procesos de tratamiento y distribución y reducir las consecuencias asociadas a la indisponibilidad de otros componentes.

Los antecedentes de La Calera–PP5 y Calderón–San Gaspar proporcionan una base técnica valiosa y muestran niveles distintos de desarrollo. Sin embargo, deberán actualizarse y compararse bajo una misma metodología antes de definir capacidades, alcances, etapas o inversiones.

La decisión deberá mantener trazabilidad entre la disponibilidad de la fuente, la restricción del sistema, la capacidad que se busca fortalecer y la configuración técnica evaluada.



3.5.3 Evaluación de las fuentes subterráneas y de la infraestructura de pozos profundos

Las fuentes subterráneas forman parte del abastecimiento complementario del Área Metropolitana de Guadalajara y cumplen funciones territoriales y operativas diferenciadas. Su contribución no debe evaluarse únicamente a partir del número de pozos existentes ni del caudal nominal de los equipos instalados.

Es necesario determinar simultáneamente la disponibilidad del acuífero, la condición física del aprovechamiento, la capacidad hidráulica real, la calidad del agua, el desempeño electromecánico y la posibilidad de incorporar la producción al sistema de distribución.

Esta distinción es fundamental porque la disminución del caudal de un pozo puede estar relacionada con factores diferentes. Puede derivar de la evolución de los niveles piezométricos, de incrustaciones o deterioro en la infraestructura, de una menor eficiencia del equipo de bombeo, de restricciones eléctricas, de problemas de calidad o de condiciones administrativas que limiten su operación. En consecuencia, no deberá atribuirse automáticamente a una sola causa ni asumirse que la rehabilitación física permitirá recuperar íntegramente la capacidad histórica.

Desde la perspectiva de la seguridad hídrica, el valor de los pozos tampoco depende exclusivamente de su aportación total. Su distribución territorial puede permitir atender sectores específicos, proporcionar respaldo localizado, reducir temporalmente la demanda sobre otros componentes o apoyar la continuidad durante actividades de mantenimiento y contingencias.

Disponibilidad hidrogeológica y sostenibilidad de la extracción.

La evaluación deberá comenzar por diferenciar la capacidad física del pozo de la

disponibilidad sostenible de la fuente subterránea. Un aprovechamiento puede conservar infraestructura y equipos funcionales, pero enfrentar restricciones derivadas de la evolución de los niveles del acuífero, de la calidad del agua o de los volúmenes jurídicamente disponibles.

Por ello, la caracterización deberá relacionar los registros de extracción con la evolución de los niveles estáticos y dinámicos, la profundidad de bombeo, la recuperación posterior a las pruebas, la calidad del agua y la información disponible sobre recarga, abatimiento y balance del acuífero.

La recuperación de la capacidad física de un pozo no deberá interpretarse automáticamente como autorización para incrementar la extracción. Cualquier concepto de rehabilitación o reequipamiento deberá mantenerse dentro de las condiciones técnicas, ambientales y administrativas aplicables y demostrar que la operación resultante es compatible con la sostenibilidad de la fuente.

La ausencia de series suficientemente completas sobre niveles, caudales o calidad deberá registrarse como una brecha de información. En estos casos, la decisión inicial deberá orientarse a mejorar la medición y el seguimiento antes de establecer metas de recuperación o aumento de producción.

Condición física e hidráulica de los pozos.

La capacidad de un pozo depende de la condición de la perforación, el ademe, los filtros, las rejillas, el engravado, las conexiones y demás elementos que permiten captar y conducir el agua hacia la superficie. Con el tiempo pueden presentarse incrustaciones, corrosión, sedimentación, ingreso de finos, obstrucción de zonas productoras o daños estructurales que disminuyan el rendimiento.

La evaluación deberá determinar si la reducción de capacidad responde a una pérdida de productividad del acuífero, a restricciones físicas del pozo o a una combinación de ambas. Para ello, resulta necesario integrar los antecedentes de

construcción con inspecciones, videograbaciones, aforos, pruebas escalonadas y de gasto constante, curvas de abatimiento y recuperación y registros históricos de operación.

La propuesta institucional sobre seguridad y eficiencia energética, hídrica y financiera del SIAPA incorpora procedimientos preliminares de diagnóstico y rehabilitación, como videograbación, limpieza, cepillado, retiro de sedimentos y validación del desempeño posterior a la intervención. Estos elementos constituyen referencias útiles para estructurar una metodología de evaluación, pero no acreditan por sí mismos que todos los pozos presenten la misma condición ni que una técnica sea aplicable de manera general (SIAPA, s. f.).

La rehabilitación deberá considerarse procedente cuando exista evidencia de que la infraestructura puede recuperar una parte relevante de su eficiencia y capacidad sin comprometer su integridad. Cuando se identifiquen daños estructurales severos, baja productividad hidrogeológica o costos crecientes de conservación, deberán compararse otras alternativas, incluida la sustitución o el retiro progresivo del activo.

Calidad del agua subterránea.

La calidad del agua constituye una condición determinante para establecer la función de una fuente subterránea dentro del abastecimiento. Las características fisicoquímicas pueden variar entre pozos cercanos y modificarse con el tiempo como consecuencia de la profundidad, la geología, la mezcla de estratos, la evolución de la extracción o la presencia de actividades contaminantes.

La evaluación deberá considerar la calidad del agua cruda, la estabilidad de los parámetros, los tratamientos requeridos y la capacidad del sistema para mantener el cumplimiento aplicable hasta el punto de entrega. No deberá suponerse que el agua subterránea requiere siempre menor tratamiento que

una fuente superficial; esta condición deberá demostrarse para cada aprovechamiento.

Cuando existan variaciones o parámetros que requieran atención, deberán analizarse conceptos de tratamiento localizado, mezcla controlada, modificación de la operación o restricción temporal del aprovechamiento. La selección dependerá de la naturaleza del parámetro, su frecuencia, concentración, estabilidad y efecto sobre la calidad del agua suministrada.

Asimismo, la calidad deberá relacionarse con el estado sanitario de las instalaciones, la protección de la cabeza del pozo, las conexiones, los accesos, el drenaje del sitio y los procedimientos de desinfección posteriores a una intervención.

Desempeño electromecánico y energético.

La disponibilidad funcional de un pozo depende tanto de la infraestructura de captación como del sistema de bombeo. Un pozo puede conservar capacidad hidrogeológica y, sin embargo, aportar un caudal reducido o requerir costos elevados cuando la bomba trabaja fuera de su punto eficiente, el motor presenta desgaste o la profundidad dinámica ha cambiado respecto de las condiciones consideradas durante el equipamiento.

La evaluación deberá relacionar el caudal, la carga dinámica total, la potencia demandada, el consumo energético y la eficiencia del conjunto motor-bomba. También deberá considerar la condición de tableros, transformadores, conductores, protecciones, arrancadores, válvulas, medidores y sistemas auxiliares.

La información preliminar del SIAPA identifica la rehabilitación y el reequipamiento de pozos, la incorporación de variadores de frecuencia y el fortalecimiento de la medición y el control como conceptos orientados a

recuperar capacidad y mejorar la eficiencia. Sin embargo, los ahorros y caudales potenciales deberán comprobarse mediante pruebas individuales, curvas de operación y registros energéticos verificables (SIAPA, s. f.).

La modernización electromecánica no deberá evaluarse únicamente por el ahorro de energía. También debe analizarse su contribución a la confiabilidad, la estabilidad del caudal y la presión, la reducción del desgaste, la disponibilidad de refacciones y la capacidad para responder a variaciones en la demanda.

Medición, telemetría y control.

El seguimiento de los pozos requiere información continua o periódica sobre caudal, nivel estático, nivel dinámico, presión, consumo energético, calidad y estado de los equipos. Sin estos registros no es posible distinguir oportunamente entre deterioro físico, disminución de productividad, pérdida de eficiencia o cambios en el acuífero.

La instrumentación deberá permitir reconstruir la evolución de cada aprovechamiento, comparar el desempeño antes y después de una intervención y detectar desviaciones que justifiquen mantenimiento o estudios adicionales. La telemetría puede mejorar la respuesta operativa, pero su utilidad dependerá de la precisión de los instrumentos, la continuidad de las comunicaciones, la conservación de series históricas y la integración de los datos con los sistemas institucionales de operación y mantenimiento.

Un pozo equipado con sensores, pero sin calibración, trazabilidad o análisis sistemático, no deberá considerarse plenamente monitoreado. La modernización deberá orientarse a generar información útil para la toma de decisiones y no únicamente a incrementar el número de dispositivos instalados.

Función territorial y capacidad de respaldo.

La evaluación deberá determinar qué función cumple cada pozo dentro de la distribución. Algunos aprovechamientos pueden operar de forma permanente; otros pueden atender zonas específicas o utilizarse como respaldo durante contingencias y mantenimientos.

Esta función deberá comprobarse mediante su conexión con redes, tanques y zonas de presión. Una capacidad de producción disponible no representa un respaldo efectivo si la infraestructura de distribución no permite trasladar el agua hacia las áreas afectadas o si la calidad y presión no son compatibles con el servicio requerido.

La relevancia funcional deberá considerar la población atendida, la presencia de instalaciones esenciales, la disponibilidad de otras fuentes y el tiempo durante el cual el pozo puede sostener su operación. Esta valoración permitirá diferenciar los aprovechamientos que requieren atención por su función sistémica de aquellos cuya intervención produciría beneficios predominantemente locales.

Orientación hacia conceptos de actuación.

La evidencia disponible permite orientar el análisis hacia distintos conceptos, sin establecer todavía un programa cerrado de intervención. En algunos pozos podrá resultar suficiente fortalecer el monitoreo, mejorar el mantenimiento o actualizar el equipo de bombeo. En otros podrá justificarse una rehabilitación física para recuperar eficiencia hidráulica o atender incrustaciones, sedimentos y daños localizados. También podrán identificarse necesidades de tratamiento, protección sanitaria, modernización eléctrica, automatización o integración con tanques y sectores hidráulicos.

Cuando la condición del pozo, la evolución del acuífero o el costo del ciclo de vida indiquen que la recuperación no resulta técnica o económicamente conveniente, deberá evaluarse su sustitución, reubicación o retiro progresivo.

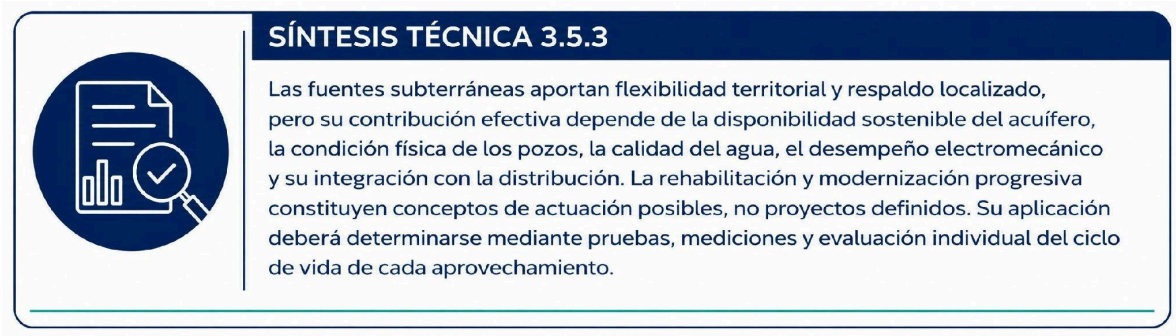
Estas alternativas no deberán definirse exclusivamente a partir de la antigüedad ni de una estimación general de caudal recuperable.

El concepto de rehabilitación y modernización progresiva de pozos estratégicos puede utilizarse como una familia de alternativas para orientar el análisis. Sin embargo, la clasificación de un pozo como estratégico y la definición de las acciones correspondientes deberán derivarse de su sostenibilidad, condición, desempeño, calidad, eficiencia energética y función territorial.

Implicación para la toma de decisiones.

La aportación de las fuentes subterráneas deberá evaluarse a partir de tres dimensiones integradas: sostenibilidad del acuífero, disponibilidad funcional de la infraestructura y utilidad operativa dentro del sistema metropolitano. La existencia de un pozo, un derecho de extracción o un equipo instalado no acredita por sí misma una aportación confiable. Será necesario demostrar el caudal sostenible, la calidad, el desempeño electromecánico, los costos de operación, la capacidad de integración y el beneficio que aporta frente a escenarios ordinarios y de contingencia.

Las decisiones podrán orientar mantenimiento, rehabilitación, reequipamiento, modernización, tratamiento, integración hidráulica, sustitución o retiro. La selección deberá sustentarse en estudios individualizados y en la comparación del costo, riesgo y beneficio durante el ciclo de vida.



3.5.4 Integración operativa, diversificación y capacidad de maniobra

La diversificación del abastecimiento sólo fortalece la confiabilidad cuando las distintas fuentes pueden integrarse efectivamente al sistema metropolitano. La existencia de presas, pozos, conducciones o plantas potabilizadoras no garantiza, por sí misma, que el agua pueda incorporarse en el momento, volumen y zona donde se requiere.

La integración operativa depende de la coordinación entre la disponibilidad de las fuentes, la capacidad de captación y conducción, los procesos de potabilización, las estaciones de bombeo, los tanques, las interconexiones y las redes de distribución. Una restricción en cualquiera de estos componentes puede impedir que una fuente potencialmente disponible funcione como respaldo real.

Por esta razón, la evaluación deberá distinguir entre diversificación nominal y diversificación efectiva. La primera corresponde a la existencia de diferentes fuentes dentro del inventario; la segunda representa la capacidad comprobada para utilizarlas de manera coordinada, mantener una aportación sostenible y trasladar el agua hacia las zonas de servicio sin comprometer su calidad, continuidad o eficiencia.

Esta distinción evita sobreestimar la confiabilidad del sistema por el simple número de fuentes disponibles. Dos fuentes pueden depender de una misma conducción, planta, subestación o componente de entrega y, por tanto, compartir una vulnerabilidad común. De manera inversa, una fuente de menor capacidad puede aportar un respaldo relevante cuando dispone de infraestructura independiente y atiende un sector con pocas alternativas.

Capacidad de maniobra del sistema.

La capacidad de maniobra consiste en la posibilidad de modificar la operación ante cambios en la disponibilidad, actividades de mantenimiento, fallas o variaciones de la demanda, sin producir afectaciones incompatibles con la prestación del servicio.

Esta capacidad se expresa en la posibilidad de redistribuir caudales, modificar la participación de las plantas, aislar componentes, utilizar almacenamiento, activar fuentes complementarias y ajustar presiones o zonas de servicio. No depende exclusivamente de la infraestructura física; también requiere información oportuna, procedimientos, personal capacitado y coordinación entre las áreas responsables.

Una interconexión representada en un plano no constituye necesariamente una alternativa funcional. Para que aporte capacidad de maniobra debe encontrarse en condiciones de operación, disponer de válvulas accesibles y confiables, contar con capacidad hidráulica suficiente y no producir efectos adversos sobre las presiones, la calidad del agua o el funcionamiento de otros sectores.

De manera similar, el almacenamiento disponible sólo proporciona respaldo cuando los tanques mantienen niveles adecuados, pueden recibir y entregar los caudales requeridos y están integrados con las zonas que podrían resultar afectadas. La evaluación deberá considerar el tiempo durante el cual puede sostenerse una configuración alternativa y no solamente su posibilidad de activación inmediata.

Integración de fuentes superficiales y subterráneas.

Las fuentes superficiales y subterráneas presentan comportamientos y requerimientos diferentes. Las superficiales dependen de la disponibilidad hidrológica, las reglas de operación, la calidad del agua y la capacidad de conducción y tratamiento. Las subterráneas dependen, además, de la evolución de los niveles piezométricos, la condición de los pozos, la calidad local y el

desempeño electromecánico.

Su operación coordinada puede proporcionar mayor flexibilidad, pero deberá evitarse que las fuentes subterráneas se utilicen como una respuesta automática a cualquier reducción del abastecimiento superficial. El incremento temporal o permanente de la extracción deberá analizarse frente a la sostenibilidad del acuífero, los derechos aplicables, la calidad y los costos energéticos.

La integración deberá orientarse a distribuir adecuadamente las funciones entre las fuentes. Algunas podrán contribuir a la producción ordinaria; otras podrán operar como respaldo localizado o utilizarse durante mantenimientos y contingencias. Esta asignación deberá sustentarse en escenarios de disponibilidad y no únicamente en los caudales máximos registrados históricamente.

Relación con la producción y la distribución territorial.

La capacidad complementaria adquiere valor cuando puede relacionarse con las plantas potabilizadoras y con las zonas de demanda. Una fuente superficial puede presentar disponibilidad, pero no generar un beneficio inmediato si la planta receptora carece de margen de tratamiento o si las redes y tanques no permiten trasladar la producción hacia los sectores requeridos.

Por ello, la integración debe evaluarse desde la fuente hasta el punto de entrega. Los conceptos previamente estudiados en torno a La Calera y la Planta Potabilizadora No. 5 responden a una lógica de conexión entre una fuente existente y la producción de la zona sur. De manera semejante, los antecedentes de Calderón y la Planta Potabilizadora No. 3 analizan la posibilidad de fortalecer la relación entre una fuente superficial, la infraestructura de conducción y una planta con capacidad de aportar al sistema metropolitano. Estos antecedentes orientan configuraciones de integración, pero no constituyen por sí mismos

decisiones definitivas.

La evaluación deberá demostrar en cada caso si la configuración incrementa la aportación efectiva, mejora la flexibilidad territorial, facilita el mantenimiento de otros componentes o proporciona respaldo bajo escenarios definidos. La existencia de ingeniería desarrollada constituye un indicador de madurez, pero el beneficio sistémico deberá verificarse con información actualizada.

Dependencias comunes y redundancia real.

La diversificación pierde efectividad cuando las fuentes aparentemente independientes comparten componentes críticos. Varias instalaciones pueden depender de una misma subestación, línea de transmisión, estación de bombeo, conducción, planta o plataforma de control.

El análisis deberá identificar estas dependencias comunes para evitar considerar como redundantes configuraciones que pueden quedar simultáneamente fuera de operación ante una sola falla.

La redundancia real deberá evaluarse en términos de capacidad, duración y autonomía. Una fuente o instalación puede proporcionar un respaldo parcial durante algunas horas, pero no sustituir de manera sostenida la aportación de otro componente. Esta condición sigue siendo valiosa para la operación, siempre que se caracterice correctamente y no se presente como una equivalencia completa.

Así, el diagnóstico deberá diferenciar entre:

diversificación de fuentes, respaldo parcial, respaldo temporal y redundancia funcional equivalente. Esta diferenciación permitirá comunicar con precisión qué capacidad posee realmente el sistema y cuáles son sus márgenes ante distintas contingencias.

Energía, automatización y control operacional.

La integración de fuentes complementarias requiere coordinar equipos de bombeo, válvulas, niveles, presiones, caudales y consumos energéticos. A medida que aumenta el número de configuraciones posibles, también crece la necesidad de disponer de información integrada y reglas claras de operación.

La documentación institucional del SIAPA reconoce que la infraestructura de pozos y bombeo representa una parte relevante de los activos que dependen de energía y que la cobertura actual de telemetría y comunicaciones requiere fortalecimiento y estandarización (SIAPA, s. f.).

La modernización deberá orientarse a conocer y controlar el comportamiento del sistema, no únicamente a instalar equipos. La medición de caudales y presiones, el seguimiento de niveles, la supervisión del consumo energético, las alarmas y el registro histórico deberán apoyar la selección de la configuración más adecuada bajo cada condición.

El control remoto puede ampliar la capacidad de respuesta, pero deberá acompañarse de protocolos de seguridad, validación de maniobras, trazabilidad, interoperabilidad y procedimientos alternativos para operar cuando las comunicaciones no se encuentren disponibles.

Evaluación mediante escenarios operativos.

La capacidad de maniobra no puede demostrarse únicamente mediante el análisis estático de la infraestructura. Será necesario evaluar cómo se comporta el sistema bajo diferentes condiciones de operación. Los escenarios deberán representar, al menos, la operación ordinaria, el mantenimiento de

componentes relevantes, la disminución temporal de una fuente y las contingencias que afecten la conducción, el bombeo, la producción o la energía. Para cada escenario deberá determinarse qué fuentes pueden activarse, qué caudal puede mantenerse, durante cuánto tiempo, qué zonas serían atendidas, qué costos y requerimientos energéticos se generarían y qué condiciones de calidad y presión podrían conservarse. El propósito no será producir una única configuración óptima para todos los casos. El sistema deberá contar con reglas de operación adaptables a las condiciones hidrológicas, de demanda, mantenimiento y riesgo.

Orientación hacia conceptos de actuación.

La evaluación podrá orientar conceptos relacionados con la recuperación y modernización de pozos, el fortalecimiento de estaciones de bombeo, la incorporación de medición y telemetría, el aprovechamiento de interconexiones y la integración de fuentes superficiales con las plantas No. 3 y No. 5.

Estos conceptos responden a capacidades que el sistema puede requerir: diversificación efectiva, flexibilidad territorial, capacidad de respaldo, eficiencia energética y mayor control operacional. No deberán presentarse como una cartera definida ni como proyectos cuya ejecución se encuentre determinada.

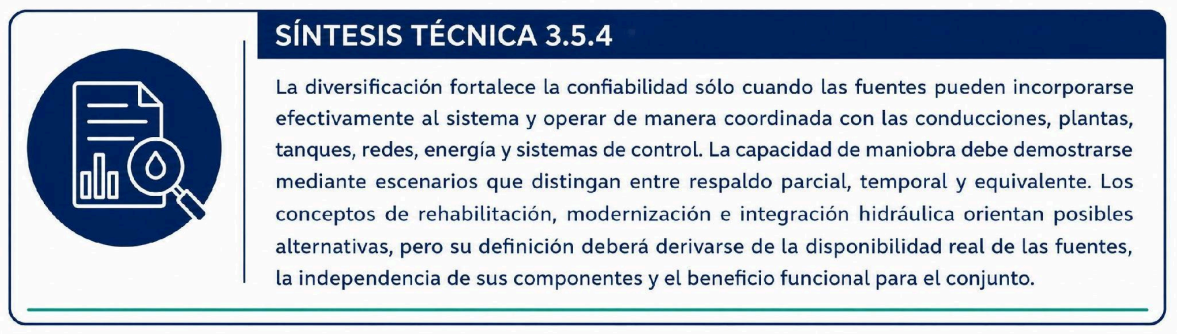
La documentación del Modelo de Gestión Hídrica reconoce, entre sus antecedentes, la necesidad de analizar la capacidad de conducción Calderón–San Gaspar, rehabilitar y modernizar redes y depósitos, evaluar fuentes complementarias y fortalecer la instrumentación. Estas aportaciones constituyen una base para orientar la evaluación, pero deberán contrastarse con el diagnóstico actualizado y las competencias institucionales correspondientes.

Implicación para la toma de decisiones.

La evaluación deberá determinar si las fuentes complementarias aportan una diversificación funcional o solamente amplían el inventario de infraestructura. Para ello será necesario comprobar su disponibilidad, calidad, capacidad de integración, independencia respecto de componentes comunes, duración del respaldo y utilidad territorial.

La toma de decisiones deberá priorizar configuraciones que incrementen la capacidad de maniobra del conjunto y no únicamente la producción individual de una fuente. Esto implica analizar simultáneamente la infraestructura de captación, conducción, tratamiento, regulación, distribución, energía y control.

Los conceptos de rehabilitación de pozos, modernización de bombeos, integración La Calera–PP5 o fortalecimiento Calderón–San Gaspar deberán evaluarse por su capacidad para atender restricciones documentadas y mejorar el desempeño sistémico. La definición de capacidades, trazos, tecnologías, costos y etapas corresponderá a la evaluación posterior de alternativas.



3.5.5 Restricciones y vacíos de información

La evaluación del abastecimiento complementario muestra que su principal desafío no consiste únicamente en disponer de un mayor número de fuentes,

sino en asegurar que éstas puedan aportar agua de manera confiable, sostenible y territorialmente útil dentro del sistema metropolitano.
Las fuentes superficiales y subterráneas analizadas presentan características, capacidades y condiciones de operación diferentes. Algunas pueden contribuir de manera ordinaria al suministro; otras pueden desempeñar funciones de respaldo parcial, atención localizada o apoyo durante periodos de mantenimiento. Sin embargo, esta función no siempre se encuentra claramente documentada ni cuantificada bajo una metodología común.

En consecuencia, la restricción central puede expresarse como una capacidad limitada para conocer, integrar y operar de manera coordinada las fuentes complementarias disponibles. Esta condición se relaciona tanto con la infraestructura física como con la disponibilidad del recurso, la calidad del agua, el desempeño electromecánico, la información operativa y las reglas mediante las cuales cada fuente puede incorporarse al sistema.

Disponibilidad real y sostenibilidad de las fuentes.

La existencia de agua almacenada en una presa o la presencia de un pozo en operación no acreditan por sí mismas una aportación permanente al abastecimiento. La disponibilidad efectiva depende de factores hidrológicos, hidrogeológicos, jurídicos, ambientales y operativos que pueden modificarse a lo largo del tiempo.

En las fuentes superficiales, la variabilidad del almacenamiento, los escurrimientos, las reglas de operación y la relación con otros usos condicionan el volumen que puede incorporarse al sistema metropolitano. En las fuentes subterráneas, la evolución de los niveles piezométricos, la productividad de los pozos, la calidad del agua y los volúmenes autorizados determinan la sostenibilidad de la extracción.

Uno de los principales vacíos consiste en la falta de una caracterización homogénea que permita diferenciar, para cada fuente, entre capacidad potencial, disponibilidad efectiva, aportación sostenible y respaldo temporal. Sin esta distinción, existe el riesgo de sobreestimar la flexibilidad del sistema o de utilizar valores máximos como si representaran aportaciones continuas. La información deberá organizarse mediante escenarios hidrológicos y operativos, evitando asignar a las fuentes complementarias una capacidad fija que no refleje su variabilidad real.

Integración hidráulica incompleta o no verificada.

Una segunda restricción se relaciona con la capacidad para trasladar el agua desde las fuentes hasta los puntos donde puede ser tratada, regulada y distribuida. La disponibilidad del recurso puede resultar insuficiente para fortalecer el abastecimiento cuando las conducciones, estaciones de bombeo, plantas potabilizadoras, tanques o redes no disponen de capacidad compatible.

Los antecedentes relacionados con La Calera y la Planta Potabilizadora No. 5, así como con Calderón y la Planta Potabilizadora No. 3, muestran que existen conceptos de integración hidráulica desarrollados en diferentes niveles de madurez. Su relevancia deberá valorarse conforme a su capacidad para mejorar la flexibilidad territorial, proporcionar respaldo y reducir dependencias del sistema.

No obstante, la documentación de una conducción o configuración no demuestra automáticamente que el concepto pueda operar bajo las condiciones actuales. Será necesario verificar la disponibilidad de la fuente, la capacidad efectiva de bombeo y conducción, la compatibilidad con los procesos de potabilización y la posibilidad de trasladar posteriormente la producción hacia las zonas de demanda. La principal brecha no consiste necesariamente en la ausencia de alternativas, sino en la falta de una comparación actualizada y homogénea de su desempeño dentro del sistema completo.

Condición y desempeño de los pozos.

En las fuentes subterráneas, la información preliminar permite reconocer necesidades relacionadas con la condición física de los pozos, el desempeño de los equipos de bombeo, la eficiencia energética, la instrumentación y el mantenimiento. Sin embargo, no todos los aprovechamientos presentan la misma condición ni responden de igual forma a una intervención.

La reducción de caudal puede derivar de deterioro físico, incrustaciones, daños en el ademe, disminución de la productividad del acuífero, variaciones de calidad o pérdida de eficiencia electromecánica. Por ello, una estimación general de recuperación no deberá aplicarse automáticamente a todos los pozos.

La ausencia de diagnósticos individualizados limita la posibilidad de distinguir entre aprovechamientos que pueden recuperar capacidad mediante limpieza o rehabilitación, aquellos que requieren reequipamiento y modernización y los que presentan condiciones que podrían justificar su sustitución o retiro progresivo.

La capacidad que debe fortalecerse es una gestión individualizada de los pozos, sustentada en inspecciones, videograbaciones, aforos, pruebas de bombeo, análisis de calidad, medición energética y seguimiento de niveles.

Dependencia electromecánica y energética.

El abastecimiento complementario depende en gran medida de equipos de bombeo, motores, instalaciones eléctricas, tableros, sistemas de control y suministro continuo de energía. Esta dependencia influye en la disponibilidad,

el costo y la confiabilidad de las fuentes.

La propuesta institucional sobre seguridad y eficiencia energética identifica necesidades preliminares de rehabilitación, reequipamiento, variadores de frecuencia, protección eléctrica, telemetría y control en pozos y estaciones de bombeo (SIAPA, s. f.). Sin embargo, las capacidades, ahorros y costos estimados deberán verificarse mediante información de campo y registros oficiales antes de constituir una base definitiva para la toma de decisiones.

El vacío principal se relaciona con la falta de una conciliación sistemática entre desempeño hidráulico y energético. Conocer únicamente el caudal o el consumo eléctrico no permite determinar la eficiencia del activo. Será necesario relacionar ambos valores con la carga dinámica, el punto de operación, la disponibilidad de equipos y la función que desempeña la instalación dentro del sistema.

Medición, telemetría y conocimiento operativo.

La integración de fuentes complementarias requiere información oportuna sobre caudales, niveles, presiones, calidad, consumo energético y estado de los equipos. Cuando los registros se encuentran fragmentados, tienen frecuencias diferentes o no pueden relacionarse entre sí, se reduce la capacidad para evaluar el desempeño y decidir qué fuente debe operar bajo cada escenario.

La cobertura parcial o no estandarizada de telemetría constituye una restricción para la operación coordinada. Sin embargo, la respuesta no debe limitarse a instalar sensores. Es necesario asegurar su calibración, continuidad, interoperabilidad, conservación histórica y utilización en los procesos de operación y mantenimiento.

La capacidad que debe fortalecerse es un sistema institucional de información que permita conocer la aportación efectiva de cada fuente, detectar desviaciones, comparar configuraciones y documentar las decisiones operativas.

Dependencias comunes y capacidad real de respaldo.

La diversificación puede ser menor de lo que aparenta cuando varias fuentes comparten componentes críticos. Presas, pozos o plantas distintas pueden depender de una misma conducción, subestación, estación de bombeo, red primaria o sistema de control. Esta condición obliga a evaluar la independencia funcional de las alternativas. Una fuente complementaria puede proporcionar respaldo parcial, pero no constituir una redundancia equivalente si comparte la misma vulnerabilidad que el componente al que pretende sustituir.

El diagnóstico deberá caracterizar la capacidad de respaldo en términos de volumen, duración, territorio atendido y condiciones de operación. Esto permitirá distinguir entre una aportación localizada y temporal y una configuración capaz de sustituir de manera sostenida una parte relevante del abastecimiento.

Integración de las restricciones.

Las restricciones del abastecimiento complementario se encuentran estrechamente relacionadas. Una fuente puede disponer de agua, pero carecer de infraestructura suficiente para conducirla; una conducción puede estar disponible, pero depender de equipos con baja confiabilidad; un pozo puede conservar capacidad, pero presentar calidad incompatible con su incorporación directa; y una instalación puede operar adecuadamente, pero no disponer de conexión con las zonas donde sería más útil.

Por ello, la respuesta no deberá construirse como una suma de proyectos independientes. La rehabilitación de pozos, la modernización de bombeos, el fortalecimiento de la telemetría y la integración de fuentes superficiales deberán evaluarse como conceptos complementarios dentro de una misma estrategia

de flexibilidad y diversificación operativa.

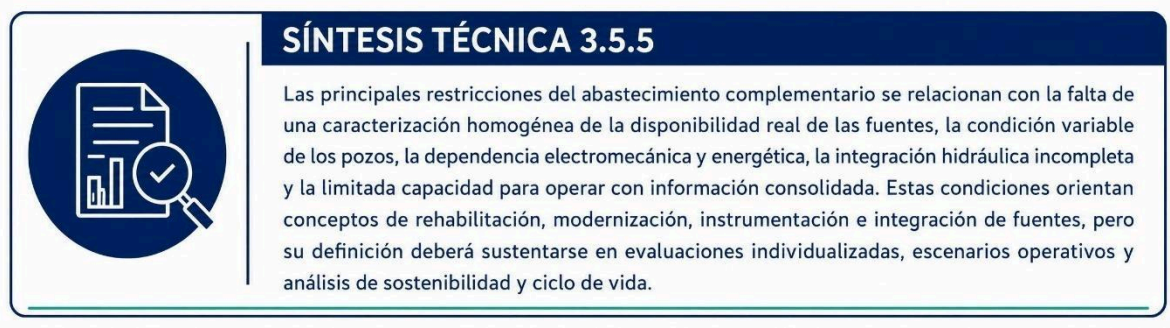
La madurez de algunos antecedentes técnicos constituye una ventaja porque reduce el tiempo necesario para analizar determinadas configuraciones. Sin embargo, su conveniencia deberá comprobarse mediante información actualizada y comparación con otras alternativas.

Implicación para la toma de decisiones.

El diagnóstico permite orientar el fortalecimiento del abastecimiento complementario hacia cuatro capacidades: conocer la disponibilidad real de las fuentes, recuperar y conservar la infraestructura existente, mejorar la integración hidráulica y energética y contar con información suficiente para operar mediante escenarios.

Estas capacidades pueden traducirse posteriormente en conceptos de rehabilitación y modernización progresiva de pozos, fortalecimiento de estaciones de bombeo, instrumentación y control, integración de fuentes superficiales y mejora de interconexiones. No obstante, la definición de activos, capacidades, trazos, tecnologías, etapas y costos deberá derivarse de una evaluación individual y sistémica.

La toma de decisiones deberá comprobar que cada concepto propuesto, responde a una restricción documentada, aporta una capacidad funcional verificable, es sostenible respecto de la fuente y puede integrarse al sistema sin trasladar la restricción hacia otro componente.



3.6 Evaluación técnica del sistema de alcantarillado sanitario y saneamiento

El saneamiento metropolitano comprende una cadena funcional que inicia con la captación de las aguas residuales en viviendas, comercios, industrias y equipamientos; continúa mediante redes de atarjeas, colectores, emisores, cárcamos y conducciones; y concluye con el tratamiento, la descarga controlada o el aprovechamiento del agua tratada. La evaluación del sistema no deberá concentrarse exclusivamente en las plantas de tratamiento, porque su desempeño depende también de que las aguas residuales sean recolectadas y conducidas oportunamente hasta ellas.

En términos funcionales, la cadena puede representarse como:

generación → recolección → conducción → tratamiento → descarga o aprovechamiento

Una restricción en cualquiera de estas etapas puede reducir el desempeño del conjunto. Una planta con capacidad disponible no genera beneficios ambientales cuando las redes y colectores no permiten trasladar adecuadamente los caudales; de manera inversa, una red de conducción puede operar hidráulicamente, pero trasladar aportaciones pluviales, infiltraciones o descargas incompatibles que incrementen las cargas y dificulten el tratamiento. Por ello, la evaluación deberá diferenciar entre cobertura nominal, cobertura funcional y saneamiento efectivo. La existencia de tuberías o capacidad instalada de tratamiento no acredita por sí misma que todos los caudales generados sean recolectados, conducidos y tratados bajo condiciones

adecuadas. Será necesario relacionar la infraestructura disponible con los volúmenes efectivamente recibidos, tratados y descargados, así como con su desempeño ambiental y normativo.

El marco regulatorio refuerza esta visión integral. La NOM-002-SEMARNAT-1996 establece límites para las descargas incorporadas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, entre otros propósitos, para proteger su infraestructura y prevenir afectaciones posteriores. La NOM-001-SEMARNAT-2021 regula las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación, mientras que la NOM-003-SEMARNAT-1997 establece criterios aplicables al agua residual tratada que se reutiliza en servicios al público. En consecuencia, el control debe abarcar tanto lo que ingresa al alcantarillado como la calidad del efluente y las condiciones del aprovechamiento posterior (SEMARNAT, 1998a; 1998b; 2022).

La condición de las redes constituye una dimensión central. El alcantarillado metropolitano fue construido y ampliado durante distintas etapas de crecimiento urbano, por lo que integra tuberías, colectores, pozos de visita, estructuras y cárcamos con diferentes antigüedades, materiales, capacidades y condiciones de mantenimiento. La cartografía institucional proporcionada por el SIAPA clasifica territorialmente la infraestructura en rangos que comprenden desde redes de hasta 30 años hasta sectores con edades estimadas de entre 61 y 70 años. La información entregada no incluye todavía las longitudes ni los porcentajes correspondientes a cada rango, por lo que deberá utilizarse como evidencia espacial y no para realizar estimaciones cuantitativas de la proporción envejecida.

La antigüedad representa una señal relevante para orientar inspecciones y gestión del ciclo de vida, pero no determina automáticamente la condición ni la sustitución de una tubería. Su interpretación deberá relacionarse con el material, diámetro, pendiente, entorno geotécnico, historial de obstrucciones y colapsos, infiltraciones, reparaciones, capacidad hidráulica, criticidad y

consecuencias sanitarias y territoriales.

También deberá analizarse la relación entre el alcantarillado sanitario y el drenaje pluvial. En diferentes sectores pueden existir configuraciones combinadas, interconexiones, conexiones irregulares o entradas de agua pluvial e infiltración hacia las redes sanitarias. Estas condiciones pueden incrementar los caudales durante eventos de lluvia, reducir la capacidad disponible, provocar desbordamientos y trasladar cargas hidráulicas adicionales hacia cárcamos y plantas de tratamiento.
No deberá afirmarse que todo el sistema metropolitano es combinado sin contar con un inventario que lo demuestre. El diagnóstico deberá identificar territorialmente dónde existen redes separadas, configuraciones combinadas, interconexiones o aportaciones no deseadas y determinar sus efectos sobre la conducción y el tratamiento.

Desde la perspectiva de la gestión de activos, las decisiones deberán diferenciar entre mantenimiento, rehabilitación, renovación, modernización y reconfiguración. En algunos sectores, la restricción podrá atenderse mediante limpieza, desazolve, inspección y reparación localizada. En otros, la recurrencia de colapsos, la pérdida de capacidad, la infiltración, las afectaciones sanitarias o el costo acumulado de reparaciones podrán justificar la evaluación de una renovación progresiva de las redes.

La modernización también deberá incluir medición, instrumentación, inspección mediante tecnologías apropiadas, sistemas de información geográfica, monitoreo de niveles, control de cárcamos y trazabilidad de los trabajos realizados. La gestión no puede limitarse a reaccionar ante obstrucciones o socavones; requiere identificar tendencias, anticipar fallas y programar la atención conforme a condición y criticidad.

El tratamiento constituye otra dimensión fundamental, pero deberá evaluarse como parte del sistema completo. La capacidad instalada de las plantas deberá

contrastarse con los caudales realmente recibidos, su variabilidad, la calidad del afluente, la disponibilidad de los procesos, el cumplimiento de los efluentes, el consumo energético, la generación de lodos y la posibilidad de retirar unidades para mantenimiento.

La evolución de los requisitos ambientales hace necesario examinar si las instalaciones pueden mantener el desempeño esperado bajo las condiciones actuales y futuras. Esto puede orientar conceptos de optimización, rehabilitación, modernización tecnológica, fortalecimiento del pretratamiento, mejora de la eficiencia energética, manejo de lodos, recuperación de recursos o ampliación de capacidad. Sin embargo, estos conceptos deberán derivarse del diagnóstico y no presentarse todavía como proyectos definidos.

El agua tratada deberá evaluarse como un recurso potencial, pero su aprovechamiento dependerá de la calidad obtenida, el uso previsto, la infraestructura de conducción, la demanda, la viabilidad sanitaria y ambiental y el marco normativo. No será suficiente producir agua con determinada calidad si no existen usuarios, redes, almacenamiento o mecanismos de control que permitan aprovecharla de manera segura y sostenible.

El propósito de este apartado es, por tanto, evaluar el sistema desde la recolección hasta el tratamiento y aprovechamiento, identificar las restricciones que disminuyen su desempeño y determinar las capacidades que requieren fortalecimiento. La renovación de redes, la separación funcional de flujos sanitarios y pluviales, la modernización del tratamiento y el aprovechamiento del agua tratada deberán entenderse como conceptos de actuación sujetos a evaluación, no como proyectos automáticamente seleccionados.

3.6.1 Evolución del sistema metropolitano de alcantarillado y saneamiento

El sistema metropolitano de alcantarillado y saneamiento evolucionó de manera paralela al crecimiento de la ciudad. La expansión urbana incrementó la longitud de las redes, el número de conexiones, los caudales generados y las distancias necesarias para conducir las aguas residuales hacia puntos de descarga o tratamiento.

En sus primeras etapas, la infraestructura respondió a una ciudad más compacta y a condiciones de ocupación y consumo distintas de las actuales. Conforme se incorporaron nuevos municipios, desarrollos y zonas periféricas, el sistema se extendió mediante redes y colectores construidos en periodos, materiales y condiciones técnicas diferentes.

Esta evolución permitió ampliar la cobertura, pero también incrementó la complejidad de la operación. Las redes locales pasaron a depender de colectores de mayor escala, cruces, sifones, cárcamos, emisores y plantas cuya disponibilidad condiciona el funcionamiento de extensas zonas del territorio.

De la evacuación al saneamiento integral.

Históricamente, el objetivo inicial de los sistemas de alcantarillado consistió en retirar las aguas residuales de las zonas habitadas y conducirlas fuera del entorno inmediato. Posteriormente, la protección de los cuerpos receptores y el fortalecimiento del marco ambiental hicieron necesario incorporar procesos de tratamiento y control de las descargas.

Esta transición modificó la función de la infraestructura. Las redes dejaron de ser únicamente medios de evacuación y se convirtieron en la primera etapa de un sistema cuyo desempeño ambiental depende de que los caudales lleguen efectivamente a las plantas y sean tratados conforme a las condiciones aplicables.

En consecuencia, no es suficiente analizar de manera separada las redes, los colectores y las plantas. Una deficiencia en la recolección puede producir descargas sin tratamiento; una conducción insuficiente puede generar desbordamientos; y una planta puede recibir caudales o cargas diferentes de aquellas consideradas durante su diseño.

Expansión y envejecimiento de las redes.

La construcción de redes a lo largo de varias décadas generó una infraestructura territorialmente heterogénea. Los sectores históricos concentran tuberías con mayor tiempo de servicio, mientras que las zonas de expansión presentan, en términos generales, infraestructura más reciente.

La clasificación espacial del SIAPA identifica rangos de antigüedad de 0 a 30, 31 a 40, 41 a 50, 51 a 60 y 61 a 70 años. La cartografía muestra que la infraestructura de mayor antigüedad se encuentra principalmente en sectores de urbanización consolidada, particularmente en áreas centrales del territorio atendido. Esta lectura deberá confirmarse posteriormente mediante la base georreferenciada, materiales, diámetros, registros de fallas y fecha de corte.

La presencia de redes con varias décadas de servicio respalda la necesidad de fortalecer la inspección, el mantenimiento y la renovación progresiva. No obstante, la edad no deberá utilizarse como equivalente de deterioro. Una tubería antigua puede conservar capacidad suficiente, mientras que una infraestructura más reciente puede presentar fallas por deficiencias constructivas, condiciones del suelo, sobrecargas o mantenimiento insuficiente.
La evaluación deberá orientarse hacia una gestión del ciclo de vida que permita diferenciar entre sectores donde es suficiente conservar y mantener, tramos susceptibles de rehabilitación y componentes cuya condición o criticidad justifiquen una renovación o sustitución.

Evolución de las cargas hidráulicas.

El crecimiento urbano no sólo incrementó los caudales sanitarios. La impermeabilización, las modificaciones del territorio y las conexiones entre sistemas pueden incorporar agua de lluvia o infiltración a las redes de alcantarillado.

Durante eventos de precipitación, estas aportaciones pueden modificar significativamente los caudales conducidos y generar condiciones diferentes de la operación ordinaria.

Los efectos pueden manifestarse mediante saturación, desbordamientos, ingreso de agua a los inmuebles, mayor operación de cárcamos, dilución del afluente y sobrecarga temporal de las plantas de tratamiento. Esta condición hace necesario distinguir entre crecimiento de la generación sanitaria y aportaciones hidráulicas no deseadas. La solución no siempre consiste en ampliar tuberías o plantas; puede requerir localizar conexiones, reducir infiltraciones, mejorar el mantenimiento, recuperar cauces, fortalecer el drenaje pluvial o avanzar hacia una separación funcional y física donde resulte técnica y territorialmente viable.

Consolidación de la capacidad de tratamiento.

La incorporación de plantas de tratamiento representó una transformación importante en la gestión metropolitana del agua residual. Estas instalaciones permitieron avanzar desde un modelo basado principalmente en la conducción y descarga hacia uno orientado a reducir cargas contaminantes y proteger los cuerpos receptores.

Sin embargo, la capacidad nominal instalada no equivale necesariamente al volumen efectivamente tratado ni al desempeño ambiental sostenido. La evaluación deberá considerar la disponibilidad real de las unidades, los caudales

recibidos, la calidad del afluente, la variabilidad durante lluvias, la condición de los equipos, el consumo energético, el manejo de lodos y el cumplimiento de los efluentes.

Asimismo, la distribución territorial del tratamiento deberá relacionarse con el crecimiento de las subcuencas y con la capacidad de la infraestructura de conducción. Una planta puede contar con margen disponible y, al mismo tiempo, no recibir determinados caudales por ausencia o insuficiencia de colectores.

Evolución del marco ambiental y del papel del agua tratada.

La actualización de los criterios aplicables a las descargas incrementó las exigencias sobre el desempeño de las plantas y sobre el control de las cargas que ingresan al sistema. La NOM-001-SEMARNAT-2021 sustituyó a la regulación anterior para las descargas en cuerpos receptores nacionales y estableció nuevos parámetros y condiciones de cumplimiento gradual.

Paralelamente, el agua tratada comenzó a reconocerse no sólo como un efluente que debe descargarse, sino como un recurso que puede disminuir presiones sobre fuentes convencionales cuando existe una calidad adecuada y una demanda técnicamente viable.

Esta evolución amplía el papel del saneamiento, pero también incrementa sus requerimientos. El aprovechamiento seguro exige tratamiento compatible con el uso, almacenamiento, conducción diferenciada, control de calidad, usuarios identificados y capacidad para mantener el servicio.

Por ello, el reúso no deberá presentarse como un beneficio automático derivado de la existencia de plantas. Deberá evaluarse como un sistema completo que conecta producción, calidad, demanda, conducción, regulación y gestión de riesgos.

Cambio en el enfoque de gestión.

La evolución del sistema muestra una transición desde una lógica centrada en ampliar cobertura y capacidad hacia una visión que debe integrar condición de redes, eficiencia de la conducción, desempeño del tratamiento, protección ambiental, recuperación de recursos y gestión del ciclo de vida.

Este cambio no elimina la necesidad de infraestructura. Por el contrario, obliga a distinguir con mayor precisión qué componentes deben mantenerse, rehabilitarse, renovarse, modernizarse o reconfigurarse.

Los conceptos de renovación progresiva de redes, fortalecimiento de colectores, modernización de plantas, separación sanitaria y pluvial y aprovechamiento del agua tratada constituyen posibles respuestas a capacidades que requieren fortalecimiento. Su definición deberá derivarse de evidencia territorial, hidráulica, sanitaria, ambiental y económica.

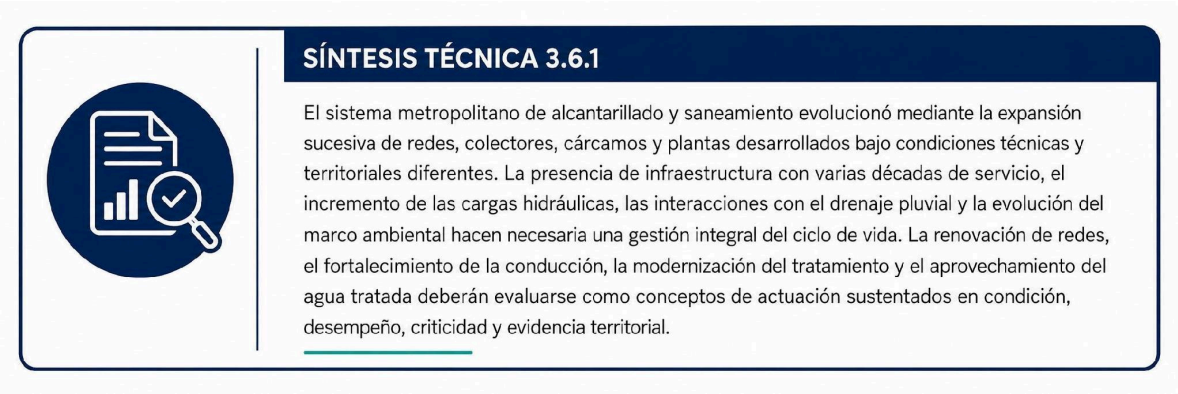
Interpretación de la evolución.

La evolución del alcantarillado y saneamiento permitió ampliar la prestación del servicio y desarrollar infraestructura de tratamiento de gran escala. Al mismo tiempo, produjo un sistema con diferencias importantes de antigüedad, condición, capacidad y cobertura funcional.

La presencia territorial de redes con edades de hasta 61–70 años, la interacción con aportaciones pluviales y la evolución de los requisitos ambientales justifican una evaluación integral. Sin embargo, esta evidencia no permite concluir automáticamente cuántos kilómetros deben sustituirse, qué plantas requieren ampliación o qué configuraciones de conducción deben adoptarse.

El diagnóstico deberá determinar dónde coinciden envejecimiento, fallas, insuficiencia hidráulica, afectaciones sanitarias, elevada criticidad y costos

recurrentes. Sólo a partir de esa combinación podrán orientarse conceptos de renovación, rehabilitación o modernización.



3.6.2 Condición, antigüedad y desempeño de las redes de alcantarillado y conducción sanitaria

Las redes de alcantarillado sanitario constituyen la infraestructura mediante la cual las aguas residuales son recolectadas y conducidas desde los puntos de generación hacia colectores, cárcamos, emisores y plantas de tratamiento. Su desempeño condiciona tanto la continuidad del servicio de drenaje como la protección sanitaria del territorio, el funcionamiento de las plantas y la calidad de los cuerpos receptores.

A diferencia de las plantas de tratamiento, cuya operación se concentra en instalaciones identificables, el alcantarillado está integrado por una extensa infraestructura enterrada, distribuida en el territorio y construida durante diferentes etapas del crecimiento urbano. Esta característica dificulta la observación directa de su condición y hace que una parte importante del deterioro permanezca sin manifestarse hasta que se producen obstrucciones, hundimientos, infiltraciones, fugas, colapsos o desbordamientos.

Por ello, la evaluación no deberá limitarse a conocer la longitud de las redes o su antigüedad general. Será necesario relacionar su edad, material, diámetro, pendiente, profundidad, condición estructural, capacidad hidráulica, historial de

fallas, mantenimiento, entorno geotécnico y función dentro del sistema de conducción sanitaria.

Antigüedad y distribución territorial.

La información institucional proporcionada por el SIAPA clasifica territorialmente las redes de alcantarillado en cinco rangos de antigüedad: de 0 a 30 años, de 31 a 40, de 41 a 50, de 51 a 60 y de 61 a 70 años. La representación espacial muestra la presencia de infraestructura con mayor tiempo de servicio principalmente en sectores asociados con etapas históricas de urbanización consolidada, mientras que amplias zonas de expansión presentan redes relativamente más recientes.

La información disponible permite reconocer la coexistencia de redes construidas en periodos muy diferentes, pero no incluye todavía el número de kilómetros ni la proporción correspondiente a cada rango. En consecuencia, el mapa puede utilizarse para identificar sectores que requieren una evaluación más profunda, pero no para estimar qué porcentaje del sistema ha superado determinados intervalos de servicio.

Esta precisión es indispensable para evitar que una representación territorial sea interpretada como un inventario completo de la condición de las tuberías. La clasificación por edad tampoco permite conocer, por sí misma, los materiales, diámetros, reparaciones, pendientes, cargas actuales ni el comportamiento hidráulico de cada tramo.

Referencia técnica para la interpretación de la antigüedad.

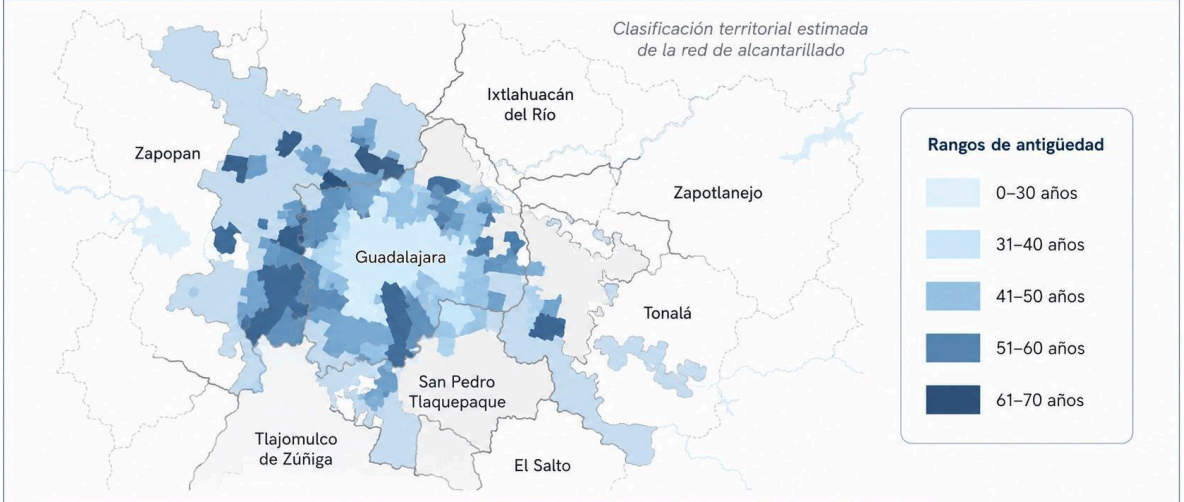
Como referencia nacional, el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la Comisión Nacional del Agua señala intervalos orientativos de vida útil de 15 a 30 años para las redes de atarjeas y de 20 a 40 años para colectores y emisores. El manual establece que la vida útil depende de la calidad

de los materiales y de la construcción, del diseño, de las características del agua conducida, de las condiciones ambientales y, de manera determinante, de la operación y el mantenimiento (CONAGUA, 2015).

La presencia de sectores clasificados en rangos de 41 a 70 años indica que parte de la infraestructura se encuentra por encima de esos intervalos orientativos. Esta condición sustenta la necesidad de fortalecer la inspección, el mantenimiento y la programación de la renovación progresiva; sin embargo, no acredita automáticamente que todas las tuberías incluidas en esos rangos hayan agotado su capacidad de servicio.

Los intervalos del MAPAS deberán utilizarse como una señal para orientar la evaluación de condición y no como una fecha automática de caducidad. La vida de servicio efectiva puede ampliarse o reducirse dependiendo del material, la calidad de instalación, las cargas del terreno, la agresividad del suelo y del agua residual, la frecuencia de limpieza, las infiltraciones y las reparaciones acumuladas.

Figura 7. Distribución territorial de la red de alcantarillado por rangos de antigüedad



Nota: La figura representa una clasificación territorial de las redes de alcantarillado por rangos estimados de antigüedad. No constituye una evaluación directa de su condición física, capacidad hidráulica, criticidad ni necesidad automática de sustitución.

Fuente: Elaboración propia con base en información técnica institucional proporcionada por el Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA).

La distribución territorial permite reconocer sectores en los que la antigüedad de las redes justifica una evaluación más detallada de su condición y

desempeño. La mayor presencia de infraestructura antigua en áreas urbanas consolidadas es consistente con la evolución histórica de la ciudad, pero deberá corroborarse mediante el catastro georreferenciado, la identificación de materiales, los registros de fallas, las inspecciones y la fecha de corte de la información.

La figura permite orientar la verificación diagnóstica y la programación de estudios, pero no sustituye la inspección de los tramos ni permite concluir por sí sola qué redes requieren renovación.

Condición estructural y pérdida de desempeño.

El deterioro de las redes puede manifestarse mediante fracturas, pérdida de sección, corrosión, desgaste, deformaciones, fallas en juntas, ingreso de raíces, asentamientos, socavaciones o daños producidos por cargas superficiales y obras cercanas. Estas condiciones pueden disminuir la capacidad de conducción, permitir fugas de aguas residuales hacia el suelo o facilitar la entrada de agua subterránea y pluvial al sistema.

La ausencia de un colapso visible no significa que la tubería conserve plenamente su integridad. Una red puede continuar conduciendo caudales y, al mismo tiempo, presentar fisuras, filtraciones o pérdida progresiva de material. Por ello, la evaluación deberá apoyarse en inspecciones directas o mediante cámaras, pruebas de hermeticidad cuando resulten aplicables, registros de mantenimiento y análisis de las afectaciones recurrentes.

La condición deberá analizarse por tramos y componentes. Una calificación general por colonia o sector puede ser útil para la planeación, pero no sustituye la identificación de los puntos donde las consecuencias de una falla serían mayores.

Capacidad hidráulica, obstrucciones y aportaciones no deseadas.

El desempeño de una red depende tanto de su condición física como de su capacidad para conducir los caudales actuales. El crecimiento de la población, el incremento de conexiones y la transformación del territorio pueden generar cargas distintas de aquellas consideradas durante su diseño.

A estas condiciones se suman las obstrucciones, acumulaciones de sedimentos, grasas, residuos y materiales que reducen la sección disponible. Cuando la limpieza se realiza únicamente después de una afectación, el mantenimiento conserva un carácter reactivo y no permite identificar tendencias ni anticipar sectores con alta probabilidad de falla.

Las infiltraciones y las entradas de agua pluvial también pueden modificar significativamente el desempeño. Durante eventos de lluvia, las conexiones irregulares, tapas, juntas defectuosas o interconexiones con el drenaje pluvial pueden incrementar temporalmente los caudales y producir saturación, desbordamientos o una mayor exigencia sobre cárcamos y plantas de tratamiento.

Esta condición no deberá interpretarse automáticamente como insuficiencia del diámetro de las tuberías. Antes de plantear ampliaciones será necesario diferenciar entre caudal sanitario, infiltración, aportación pluvial, obstrucciones y pérdida de capacidad física.

Catastro, inspección y registros de fallas.

La gestión del ciclo de vida requiere un catastro que relacione ubicación, material, diámetro, pendiente, profundidad, año de construcción, conexiones, pozos de visita, colectores asociados, historial de mantenimiento y fallas registradas.

La antigüedad proporcionada por el SIAPA constituye un componente importante de ese catastro, pero deberá complementarse con información sobre materiales y desempeño. Dos tramos de la misma edad pueden presentar condiciones muy diferentes debido a su construcción, entorno, mantenimiento y cargas recibidas.

Los reportes de obstrucciones, hundimientos, socavones o desbordamientos deberán georreferenciarse y vincularse con la infraestructura correspondiente. Esto permitirá diferenciar incidentes aislados de patrones recurrentes y conocer si las reparaciones localizadas mantienen su efectividad o si el costo acumulado comienza a justificar una intervención de mayor alcance.

La inspección deberá priorizar los sectores donde coincidan mayor antigüedad, fallas recurrentes, alta relevancia sanitaria, limitada capacidad de aislamiento, afectaciones a vialidades o inmuebles y consecuencias importantes sobre la conducción hacia las plantas.

Mantenimiento, rehabilitación y renovación progresiva.

El mantenimiento preventivo deberá orientarse a conservar la capacidad y reducir la probabilidad de obstrucciones y fallas mediante limpieza, desazolve, inspección, atención de pozos de visita y seguimiento de los sectores con mayores incidencias.

La rehabilitación será pertinente cuando una tubería conserve su función y configuración general, pero requiera recuperar su integridad o capacidad mediante reparación estructural, revestimiento, sustitución parcial o tecnologías sin zanja, cuando las condiciones técnicas lo permitan.

La renovación o sustitución deberá evaluarse en los tramos donde coincidan deterioro estructural, pérdida de capacidad, fallas recurrentes, infiltraciones, costos crecientes de mantenimiento y elevada criticidad. La antigüedad podrá

fortalecer esta conclusión, pero no deberá ser su único fundamento.

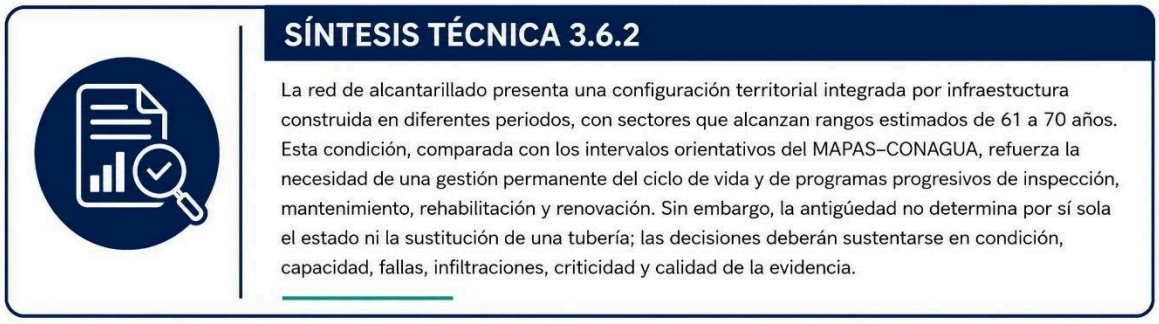
En algunos sectores, la restricción puede corresponder a la configuración hidráulica y no solamente a la condición de una tubería. En esos casos será necesario analizar la ampliación, reconfiguración o separación funcional de los flujos sanitarios y pluviales.

La programación deberá organizarse como un proceso plurianual de gestión de activos. Esto permitirá evitar tanto la sustitución generalizada sin diagnóstico como la permanencia indefinida de redes cuya atención correctiva ya no resulta suficiente.

Implicación para la toma de decisiones.

La información disponible confirma la existencia de redes de alcantarillado con varias décadas de servicio y justifica fortalecer su evaluación y renovación progresiva. Sin embargo, todavía no permite determinar la longitud que requiere intervención ni seleccionar los sectores únicamente a partir de su edad. La toma de decisiones deberá relacionar la antigüedad con la condición física, capacidad hidráulica, material, fallas, infiltraciones, aportaciones pluviales, costos de mantenimiento y consecuencias sanitarias y territoriales. A partir de esta integración podrán distinguirse sectores que requieren mantenimiento, inspección, rehabilitación, renovación, sustitución o reconfiguración.

La ausencia de longitudes por rango de edad constituye un vacío de información que deberá atenderse mediante la base georreferenciada original. Hasta contar con ella, cualquier cifra sobre kilómetros de red envejecida deberá evitarse.



3.6.3 Capacidad, desempeño y distribución territorial del tratamiento

La capacidad del sistema metropolitano de tratamiento no debe evaluarse únicamente mediante la suma de los caudales nominales de las plantas existentes. Para conocer el nivel real de saneamiento es necesario relacionar la infraestructura instalada con los caudales que efectivamente son recolectados y conducidos, la disponibilidad de las unidades de proceso, la calidad del afluente, el cumplimiento del efluente, las necesidades de mantenimiento y la continuidad con la que puede sostenerse la operación.

Esta precisión es particularmente importante en un sistema territorialmente extenso. La existencia de capacidad disponible en una planta no representa saneamiento efectivo cuando las redes, colectores, emisores o cárcamos no permiten que las aguas residuales lleguen hasta ella. De igual forma, el volumen recibido no equivale automáticamente a un volumen tratado conforme a los criterios aplicables cuando existen unidades fuera de servicio, variaciones hidráulicas, fallas electromecánicas o restricciones en el manejo de lodos.

Por ello, la evaluación deberá diferenciar entre capacidad instalada, capacidad efectiva de tratamiento y capacidad de saneamiento funcional. La primera corresponde al caudal nominal asociado con el diseño de la infraestructura; la segunda representa el volumen que puede tratarse bajo las condiciones reales de operación; y la tercera incorpora, además, la posibilidad de recolectar y

conducir el agua residual, mantener la calidad requerida del efluente y sostener la operación durante mantenimiento, lluvias o contingencias.

Concentración de la capacidad metropolitana.

La configuración actual del tratamiento se encuentra fuertemente asociada con dos instalaciones de gran escala: las plantas Agua Prieta y El Ahogado. La documentación institucional de la Comisión Estatal del Agua reporta para Agua Prieta una capacidad nominal de 8.5 m^3/s, correspondiente a la infraestructura concebida para atender principalmente las aguas residuales de la cuenca de Atemajac (CEA, 2025).

En el caso de El Ahogado, la documentación técnica de su ampliación establece una capacidad de operación de hasta 3.25 m^3/s de agua tratada con desinfección, además de una capacidad de referencia para producción destinada a reúso. Este valor debe entenderse como una condición de diseño y operación contractual, cuya disponibilidad efectiva deberá comprobarse mediante registros actualizados de caudal, funcionamiento y calidad del efluente (CEA, 2025).

La concentración de una parte sustantiva de la capacidad en estas dos plantas ha permitido incrementar considerablemente el tratamiento metropolitano. Sin embargo, también hace necesario analizar la dependencia respecto de la infraestructura que conduce los caudales hacia ellas y las consecuencias que produciría una disminución prolongada de su desempeño.

Esta configuración no constituye por sí misma una deficiencia. Las plantas de gran escala pueden generar economías operativas, concentrar capacidades técnicas y facilitar el control de procesos complejos. No obstante, su beneficio depende de una red de conducción suficientemente confiable y de la posibilidad de realizar mantenimiento sin comprometer de manera significativa el saneamiento de las cuencas atendidas.

La experiencia documentada de Agua Prieta ilustra esta diferencia entre capacidad instalada y utilización efectiva. Instrumentos institucionales anteriores señalaron que, aun disponiendo de una capacidad nominal de 8.5 m^3/s, el caudal tratado podía ser menor por restricciones en la infraestructura de recolección y conducción. Este antecedente no deberá utilizarse como descripción automática de la situación presente, pero demuestra que la ampliación de una planta no resuelve por sí sola el saneamiento si los colectores y emisores no permiten aprovechar su capacidad.

Capacidad nominal y desempeño efectivo.

La evaluación homogénea de las plantas deberá evitar comparaciones basadas en cifras obtenidas en años, condiciones o metodologías diferentes. Para cada instalación será necesario conocer el caudal de diseño, el caudal promedio recibido, las variaciones máximas y mínimas, la disponibilidad de las unidades y el volumen que cumple sostenidamente con las condiciones de descarga o aprovechamiento correspondientes.

Una planta puede operar por debajo de su capacidad nominal por causas muy distintas. En algunos casos, el caudal recolectado puede ser insuficiente por falta de infraestructura de conducción; en otros, una parte de las unidades puede encontrarse en mantenimiento o presentar restricciones electromecánicas. También pueden existir variaciones estacionales, aportaciones pluviales, infiltraciones o cambios en la carga contaminante que modifiquen la capacidad efectiva del proceso.

Por el contrario, operar cerca del valor nominal no significa necesariamente que la instalación disponga de un margen adecuado. Una planta que funciona de manera constante en condiciones próximas a su límite puede presentar poca flexibilidad para recibir incrementos temporales, retirar unidades para

mantenimiento o responder ante cambios en la calidad del afluente.

El desempeño deberá analizarse mediante la relación entre caudal y carga. Dos afluentes con el mismo volumen pueden generar exigencias diferentes cuando varían la demanda bioquímica de oxígeno, los sólidos suspendidos, los nutrientes, las grasas, los compuestos industriales u otros parámetros que condicionan el proceso. La evaluación deberá comprobar, además, la estabilidad del efluente y no limitarse a resultados aislados. El cumplimiento sostenido requiere conocer la frecuencia de muestreo, los periodos de operación representados, los eventos extraordinarios, la disponibilidad de laboratorios y la trazabilidad de los resultados.

Distribución territorial y cobertura funcional.

La distribución de la capacidad de tratamiento debe analizarse conforme a las cuencas y subcuencas donde se generan las aguas residuales. La localización de una planta adquiere valor cuando existe infraestructura capaz de recolectar los caudales dentro de su zona de influencia y conducirlos de manera segura hasta el tratamiento.

En el nororiente metropolitano, los antecedentes técnicos identifican necesidades relevantes en las subcuencas de San Andrés, Osorio y San Gaspar. Un estudio preliminar estima para estas tres subcuencas aproximadamente 2,228 l/s de aguas residuales disponibles para tratamiento en 2025, con una posible evolución hasta 2,503 l/s en 2050. Estas cifras corresponden a proyecciones empleadas en una propuesta técnica y deberán validarse con mediciones, población efectiva, aportaciones industriales, coeficientes de retorno e infiltraciones antes de utilizarse como valores definitivos.

La documentación analizada también desarrolla una configuración conceptual de saneamiento para el nororiente con capacidades complementarias y un total de referencia de 3,830 l/s. Esta información demuestra que existen alternativas

previamente estudiadas con diferentes niveles de desarrollo, pero no acredita que sus plantas, capacidades o trazos hayan sido seleccionados de manera definitiva.

En estas Bases Técnicas, los antecedentes correspondientes a Parque Santiago, Oriente, Río Blanco, Coyula y El Vado deberán utilizarse para examinar el concepto de un sistema territorialmente integrado de saneamiento del nororiente, no para presentar una cartera cerrada de proyectos.

La necesidad que se identifica es más amplia: contar con una configuración capaz de recolectar y tratar los caudales generados en las subcuencas, reducir las descargas sin tratamiento y responder a la evolución urbana y ambiental del territorio. La forma específica de atenderla deberá derivarse de la comparación entre alternativas centralizadas, distribuidas o combinadas.

Función de las instalaciones de menor escala.

Las plantas de menor capacidad cumplen funciones territoriales que no deben evaluarse exclusivamente frente al tamaño de Agua Prieta o El Ahogado. En determinados sectores pueden reducir distancias de conducción, atender descargas localizadas, disminuir la dependencia de colectores de gran longitud o generar agua tratada cerca de usuarios potenciales.

La Planta de Tratamiento Río Blanco constituye un ejemplo de una instalación cuya evolución debe analizarse conforme al crecimiento de su cuenca. La documentación técnica disponible registra una primera etapa con capacidad del orden de 350 l/s y antecedentes de crecimiento conceptual hacia 500 y 750 l/s. Estos valores provienen de documentación de diseño elaborada en 2013 y deberán actualizarse respecto de la condición y operación actuales.

La existencia de capacidad distribuida tampoco garantiza por sí misma un mejor resultado. Las plantas de menor escala requieren operación especializada, energía, mantenimiento, laboratorios, manejo de lodos y recursos permanentes.

Cuando estas capacidades no se encuentran aseguradas, la dispersión de instalaciones puede incrementar la complejidad institucional y generar desempeños desiguales.

Por ello, la comparación entre tratamiento centralizado y distribuido no deberá plantearse como una elección absoluta. En un territorio metropolitano complejo puede resultar adecuada una configuración combinada, en la que plantas de gran escala atiendan cuencas consolidadas y otras instalaciones respondan a zonas de crecimiento, descargas específicas o posibilidades locales de aprovechamiento.

Condición y confiabilidad de las plantas existentes.

La evaluación de cada planta deberá integrar la condición de las obras civiles, los procesos biológicos y fisicoquímicos, la infraestructura eléctrica y electromecánica, la instrumentación, los sistemas de desinfección, los laboratorios y el manejo de lodos. La antigüedad constituye una señal para orientar inspecciones, pero no determina automáticamente la modernización o sustitución de una instalación. Será necesario conocer la capacidad de las unidades para mantener su función, el historial de fallas, las rehabilitaciones efectuadas, la disponibilidad de equipos de reserva y la posibilidad de realizar mantenimiento sin suspender una proporción significativa del tratamiento.

En Agua Prieta, la escala de la instalación y la evolución de las exigencias ambientales orientan el análisis hacia conceptos de optimización, rehabilitación y modernización progresiva. Estos conceptos podrán abarcar procesos, equipos, energía, instrumentación, control y manejo de lodos, pero no deberán presentarse todavía como un proyecto definido.

En El Ahogado, la ampliación de la capacidad constituye un antecedente de fortalecimiento reciente. La evaluación deberá comprobar cómo se integran las unidades originales y ampliadas, qué caudal recibe efectivamente la planta, qué

margen operativo mantiene, cómo responde a la variabilidad de las cargas y qué posibilidades ofrece para el aprovechamiento del agua tratada. La existencia de capacidad nominal para reúso no equivale automáticamente a un volumen aprovechado; se requieren calidad, demanda, conducción, almacenamiento y control. (CEA, s.f).

Para Río Blanco y las demás plantas existentes, deberá determinarse si la capacidad, condición y localización corresponden todavía con las necesidades de las cuencas atendidas. Los conceptos de rehabilitación, crecimiento o integración con nuevas conducciones sólo deberán desarrollarse después de verificar esta correspondencia.

Influencia de las aportaciones pluviales y de la calidad del afluente.

La capacidad efectiva del tratamiento puede reducirse cuando las redes sanitarias reciben aportaciones pluviales, infiltraciones o caudales ajenos al diseño. Durante eventos de lluvia, el incremento del flujo puede disminuir los tiempos de retención, afectar la estabilidad de los procesos, elevar los requerimientos de bombeo y generar desvíos o descargas que reduzcan el saneamiento efectivo.

Esta condición deberá estudiarse conjuntamente con el apartado siguiente sobre la interacción entre los sistemas sanitario y pluvial. No sería técnicamente correcto concluir que una planta requiere ampliación sin determinar previamente qué proporción del caudal corresponde a generación sanitaria y qué parte proviene de infiltraciones, conexiones irregulares o aportaciones de lluvia.

De igual manera, las descargas industriales o comerciales pueden modificar la calidad del afluente y afectar los procesos biológicos, el manejo de lodos y la calidad del efluente. El control de descargas al alcantarillado forma parte de la

capacidad del sistema de tratamiento y no debe considerarse un tema externo a la operación de las plantas.

Energía, lodos y continuidad operativa.

El tratamiento de aguas residuales requiere energía continua para bombeo, aireación, recirculación, deshidratación, desinfección y control. En algunas tecnologías, la energía representa uno de los principales componentes del costo operativo, por lo que su eficiencia influye tanto en la sostenibilidad financiera como en la confiabilidad.

La evaluación deberá relacionar el consumo con el caudal y la carga efectivamente tratados, evitando comparar instalaciones mediante consumos totales aislados. También deberá determinar la existencia de respaldo, la condición de los equipos y la capacidad para mantener los procesos esenciales durante una interrupción eléctrica.

El manejo de lodos constituye igualmente una función central. Una planta puede alcanzar una calidad adecuada del efluente y presentar, al mismo tiempo, restricciones en la estabilización, deshidratación, transporte o disposición de los residuos generados. Estas condiciones pueden limitar la operación y trasladar los impactos hacia otros sitios.

Los conceptos de digestión, cogeneración, recuperación de energía o aprovechamiento de biosólidos deberán evaluarse conforme a la cantidad y calidad de los lodos, la escala de la instalación, la viabilidad operativa y el marco aplicable. No deberán presentarse como beneficios automáticos de cualquier modernización.

Orientación hacia conceptos de actuación.

La evidencia permite orientar el fortalecimiento del sistema hacia conceptos diferenciados. En las plantas de gran escala, puede resultar necesario analizar la modernización progresiva de procesos, la confiabilidad electromecánica, la eficiencia energética y el manejo de lodos. En las cuencas con cobertura funcional insuficiente, deberán evaluarse nuevas capacidades de tratamiento y conducción, ya sea mediante configuraciones centralizadas, distribuidas o combinadas.

En las instalaciones existentes de menor escala, los conceptos podrán comprender rehabilitación, recuperación de capacidad, actualización tecnológica o crecimiento modular. La selección deberá responder a la evolución de la cuenca, el caudal realmente recolectado, la calidad del afluente, la disponibilidad territorial y las capacidades institucionales para operar y mantener la infraestructura.

Estas orientaciones permiten aproximarse posteriormente a conceptos como la modernización de Agua Prieta, la consolidación de la capacidad de El Ahogado, el fortalecimiento de Río Blanco o la configuración del saneamiento del nororiente, sin tratarlos todavía como proyectos aprobados o soluciones únicas.

La principal brecha de información consiste en la ausencia de un balance metropolitano homogéneo que relacione, para cada planta y cuenca, el caudal generado, recolectado, conducido, recibido, tratado, descargado y aprovechado.

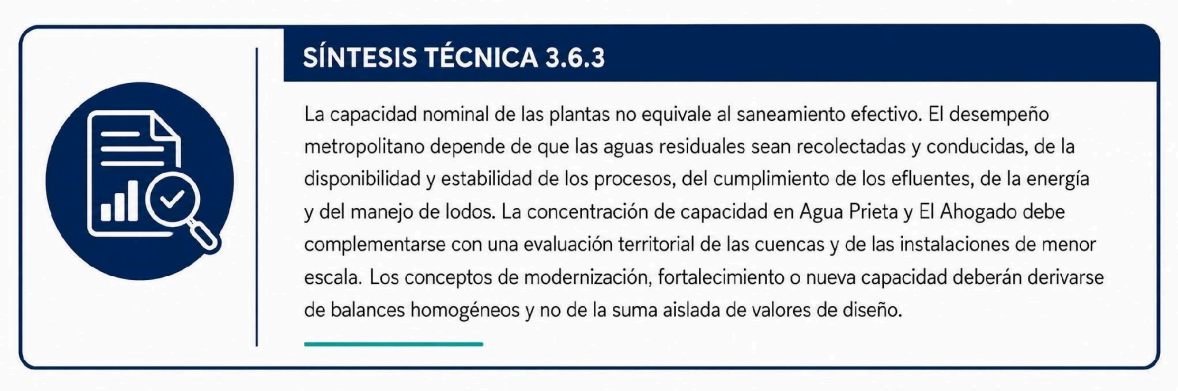
También será necesario conciliar la capacidad nominal con la disponibilidad real de unidades, el cumplimiento del efluente, las aportaciones durante lluvia, la generación de lodos, el consumo energético y la capacidad de mantenimiento.
Sin esta información no deberá afirmarse que la capacidad metropolitana es suficiente o insuficiente únicamente mediante la suma de los valores de diseño. Tampoco será posible determinar con precisión dónde conviene ampliar, rehabilitar, redistribuir o incorporar nueva capacidad.

Implicación para la toma de decisiones.

La evaluación muestra que el fortalecimiento del tratamiento requiere atender simultáneamente la infraestructura de conducción, el desempeño de las plantas y la distribución territorial de la capacidad.

Las decisiones posteriores deberán demostrar que cualquier concepto de modernización, ampliación o nueva capacidad corresponde con los caudales y cargas de la cuenca, puede mantenerse de manera confiable y se integra con colectores, emisores, energía, manejo de lodos y posibilidades reales de aprovechamiento.

La existencia de estudios avanzados será relevante para valorar la madurez de las alternativas, pero no sustituirá la actualización de los caudales, la evaluación de la infraestructura existente ni la comparación del costo del ciclo de vida.



3.6.4 Interacciones entre los sistemas sanitario y pluvial

La relación entre el alcantarillado sanitario y el drenaje pluvial constituye una de las dimensiones más relevantes para comprender el desempeño hidráulico y ambiental del saneamiento metropolitano. Aunque ambos sistemas cumplen funciones distintas, en la práctica pueden presentarse interconexiones, entradas no deseadas de agua de lluvia, infiltraciones, conexiones irregulares o tramos construidos bajo configuraciones que reciben simultáneamente aportaciones

sanitarias y pluviales.

El diagnóstico no deberá afirmar que todo el sistema del Área Metropolitana de Guadalajara funciona de manera combinada. Será necesario diferenciar territorialmente las redes concebidas como separadas, los sectores donde existan configuraciones combinadas y aquellos en los que el agua pluvial ingrese al alcantarillado sanitario por deficiencias de hermeticidad, conexiones directas, pozos de visita, acometidas particulares u otras condiciones operativas.

Esta distinción es fundamental porque cada condición requiere una respuesta diferente. Un sistema originalmente combinado no presenta la misma problemática que una red sanitaria diseñada como separada, pero afectada por infiltraciones o conexiones cruzadas. Tampoco puede atenderse de la misma manera una aportación localizada que una configuración territorial consolidada durante varias décadas.
El MAPAS de la Comisión Nacional del Agua desarrolla el alcantarillado sanitario y el drenaje pluvial como sistemas diferenciados y considera que las aportaciones pluviales deben manejarse mediante infraestructura específica. Asimismo, sus criterios de diagnóstico reconocen que la coincidencia entre incrementos de caudal y eventos de lluvia puede indicar conexiones cruzadas o funcionamiento combinado que debe verificarse en campo (CONAGUA, 2015).

Diferenciación de las aportaciones hidráulicas.

El caudal que circula por una red sanitaria puede integrar tres componentes distintos. El primero corresponde a las aguas residuales generadas por los usuarios. El segundo proviene de infiltraciones del subsuelo a través de juntas, fisuras, pozos de visita o conexiones deterioradas. El tercero corresponde a aportaciones pluviales que ingresan rápidamente durante las lluvias mediante conexiones de azoteas, patios, vialidades, rejillas, tapas o interconexiones con el drenaje pluvial.

La identificación de estos componentes resulta indispensable para interpretar correctamente los incrementos de caudal. Una red que presenta saturación durante la temporada de lluvias no necesariamente requiere de inmediato una ampliación general de diámetro. La restricción puede estar asociada con entradas de agua que no deberían llegar al sistema sanitario, con obstrucciones, con pérdida de sección o con una combinación de estas condiciones.

De manera semejante, un aumento temporal del caudal recibido en una planta de tratamiento no deberá interpretarse automáticamente como crecimiento de la generación sanitaria. Puede corresponder, en parte, a agua pluvial o infiltración que ocupa capacidad de conducción, incrementa el bombeo y altera las condiciones bajo las cuales operan los procesos de tratamiento.

La falta de hermeticidad tiene implicaciones en ambas direcciones. Puede permitir la salida de aguas residuales hacia el suelo y los acuíferos, pero también la entrada de agua externa que satura colectores, estaciones de bombeo y plantas de tratamiento. La NOM-001-CONAGUA-2011 establece especificaciones y métodos de prueba para asegurar la hermeticidad de los sistemas y advierte que la infiltración puede incrementar los costos operativos y reducir la suficiencia del tratamiento (CONAGUA, 2011).

Efectos sobre la conducción sanitaria.

Cuando las aportaciones pluviales o infiltraciones son significativas, disminuye la capacidad disponible para transportar las aguas residuales. Durante eventos intensos pueden presentarse sobrecargas, elevación de niveles, funcionamiento a presión de conducciones previstas para trabajar por gravedad, desbordamientos en pozos de visita y retorno de aguas hacia inmuebles o vialidades.

Estas condiciones pueden agravarse en redes envejecidas, con pendientes limitadas, obstrucciones, pérdida de sección o conexiones desarrolladas sin una

actualización integral de la capacidad. Sin embargo, la antigüedad no deberá utilizarse como explicación única. La evaluación deberá relacionar el comportamiento durante la lluvia con la condición física, el mantenimiento, la configuración hidráulica y la forma en que se han incorporado nuevas áreas urbanas.

La saturación también puede trasladarse hacia colectores, emisores y cárcamos que concentran los caudales de diferentes sectores. Una aportación relativamente pequeña en numerosas conexiones puede producir un efecto acumulativo relevante aguas abajo, especialmente cuando coincide con los periodos de mayor intensidad de lluvia.

Por ello, la evaluación debe realizarse por cuenca y no exclusivamente por tramo. Una intervención localizada puede reducir una afectación inmediata, pero no resolver la acumulación de aportaciones generadas en diferentes partes del sistema.

Efectos sobre las plantas de tratamiento.

Las aportaciones pluviales pueden modificar tanto el caudal como la concentración del agua que ingresa a las plantas. Aunque la dilución puede reducir temporalmente la concentración de algunos parámetros, el mayor volumen puede disminuir los tiempos de retención, incrementar las cargas hidráulicas, elevar los requerimientos de bombeo y dificultar el control estable de los procesos.

La capacidad nominal de una planta tampoco deberá utilizarse como justificación automática para recibir cualquier incremento de caudal. Es necesario conocer si el aumento ocurre de manera gradual, estacional o súbita; si corresponde a generación sanitaria o agua de lluvia; y si las unidades de proceso pueden sostener el desempeño requerido durante esos eventos.

Cuando una planta recibe caudales significativamente mayores durante la precipitación, la respuesta no debe limitarse a analizar una ampliación. También será necesario evaluar las entradas de agua pluvial, la condición de las redes, los alivios existentes, la capacidad de almacenamiento temporal y las medidas de gestión territorial que pueden reducir el volumen incorporado al sistema sanitario.

La protección del saneamiento también requiere controlar la calidad de las descargas que ingresan al alcantarillado. La NOM-002-SEMARNAT-1996 establece límites para las aguas residuales descargadas a los sistemas urbanos o municipales, mientras que la NOM-001-SEMARNAT-2021 regula las descargas en cuerpos receptores propiedad de la nación. Esto refuerza la necesidad de considerar la cadena completa entre generación, conducción, tratamiento y descarga (SEMARNAT, 1998; 2022).

Necesidad de una caracterización territorial.

La principal brecha de información consiste en no disponer todavía de una caracterización metropolitana homogénea que permita localizar y diferenciar:

- ✔ redes sanitarias y pluviales efectivamente separadas;
- ✔ sectores con configuraciones combinadas;
- ✔ conexiones cruzadas;
- ✔ infiltraciones asociadas con deterioro o falta de hermeticidad;
- ✔ y puntos donde se presentan desbordamientos o incrementos recurrentes durante las lluvias.

Esta información deberá construirse mediante la integración del catastro, los reportes de operación, los registros de lluvia, la medición de caudales y niveles y las inspecciones de campo. La coincidencia temporal entre la precipitación y el incremento de caudal sanitario puede constituir una señal relevante, pero deberá verificarse para conocer el origen y la magnitud de las aportaciones.

La inspección con cámaras, las pruebas de humo o trazadores, la revisión de conexiones, la medición temporal en colectores y la modelación hidráulica pueden contribuir a esta caracterización. El detalle metodológico deberá desarrollarse en las fichas técnicas del anexo, evitando convertir el cuerpo principal del documento en un manual de inspección.

El resultado esperado no es únicamente un inventario de conexiones incorrectas. Debe ser una lectura territorial que permita determinar dónde las interacciones entre ambos sistemas generan mayores consecuencias sobre la población, la infraestructura de conducción, los cárcamos, las plantas de tratamiento y los cuerpos receptores.

Separación funcional y separación física.

El fortalecimiento del sistema deberá orientarse, en primera instancia, hacia una separación funcional de los flujos sanitarios y pluviales. Esto significa impedir, reducir y controlar las aportaciones que no corresponden al sistema sanitario, aun cuando no sea posible reconstruir inmediatamente toda la infraestructura bajo una configuración físicamente separada.

La separación funcional puede comprender la corrección de conexiones, la rehabilitación de tuberías y pozos de visita, la mejora de la hermeticidad, el control de escurrimientos en predios, la recuperación de infraestructura pluvial y la incorporación de medidas de regulación e infiltración en superficie.

La separación física implica contar con conducciones distintas para aguas residuales y escurrimientos pluviales. Este objetivo puede resultar técnica y territorialmente viable en nuevos desarrollos, sectores sujetos a renovación urbana o zonas donde exista espacio suficiente para incorporar infraestructura diferenciada. En áreas consolidadas, su implementación completa puede

requerir intervenciones extensas, afectar otras redes de servicios y generar costos y disrupciones importantes.

Por ello, no deberá plantearse una separación física general e inmediata para todo el territorio. La estrategia deberá ser progresiva y diferenciada, comenzando en los sectores donde la interacción genera mayores riesgos o donde las condiciones urbanas permitan obtener beneficios verificables.

En determinados sitios, la alternativa más adecuada podrá combinar rehabilitación del alcantarillado sanitario, corrección de conexiones, fortalecimiento del drenaje pluvial y medidas de retención, infiltración o aprovechamiento del agua de lluvia. Este enfoque evita trasladar automáticamente todos los escurrimientos hacia tuberías de mayor dimensión y permite recuperar parcialmente el funcionamiento hidrológico del territorio.

Orientación hacia conceptos de actuación.

La evidencia deberá permitir orientar diferentes familias de actuación, sin convertirlas todavía en proyectos definidos. En algunos sectores, la necesidad principal podrá ser inspeccionar y rehabilitar redes para recuperar su hermeticidad. En otros, será necesario corregir conexiones o fortalecer la capacidad del drenaje pluvial. También podrán existir cuencas donde la configuración requiera una separación física progresiva, nuevos colectores o una reestructuración más amplia de los flujos.

La definición deberá partir de la restricción predominante. Cuando el problema corresponda a infiltración, una ampliación puede aumentar la capacidad sin eliminar el ingreso de agua externa. Cuando derive de una configuración combinada consolidada, la corrección localizada puede ser insuficiente. Cuando exista una afectación vinculada con la transformación del territorio, la respuesta deberá incorporar medidas de gestión pluvial y no limitarse al alcantarillado

sanitario.

Los conceptos de renovación de redes, separación sanitaria y pluvial, rehabilitación de colectores, regulación de escurrimientos y recuperación de infraestructura pluvial deberán evaluarse de forma articulada dentro de cada cuenca.

Coordinación institucional y corresponsabilidad.

La interacción entre ambos sistemas trasciende las competencias de una sola área. La operación del alcantarillado, la gestión del drenaje pluvial, el mantenimiento urbano, las autorizaciones de desarrollo, la regulación de descargas y la planeación territorial pueden corresponder a instituciones y órdenes de gobierno distintos.

Esta distribución de responsabilidades exige procedimientos claros para compartir información, revisar conexiones, atender afectaciones y evitar que nuevas urbanizaciones incorporen aportaciones indebidas al sistema sanitario.

La corresponsabilidad también comprende a los desarrolladores, establecimientos, industrias y usuarios cuyas instalaciones privadas pueden generar conexiones inadecuadas, descargas incompatibles o escurrimientos que incrementen las cargas sobre la infraestructura pública.

El fortalecimiento institucional deberá orientarse a prevenir nuevas interconexiones, corregir las existentes y establecer criterios homogéneos de diseño, inspección, recepción y mantenimiento.

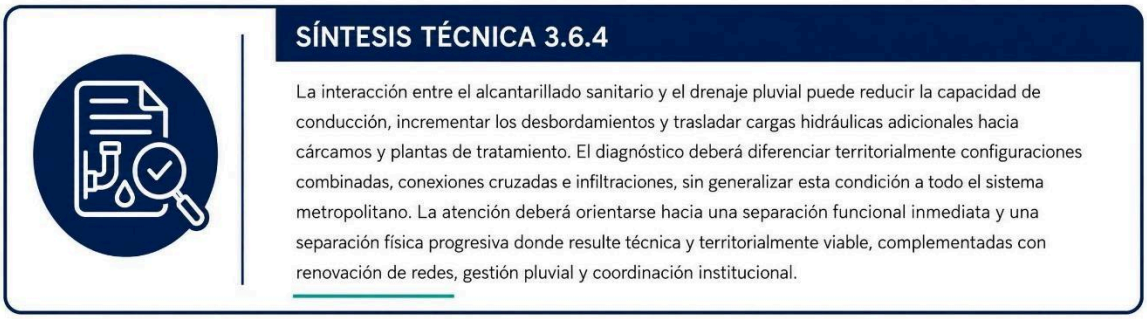
Implicación para la toma de decisiones.

La evaluación deberá determinar dónde las interacciones entre los sistemas sanitario y pluvial representan una restricción relevante y cuál es su causa

predominante. La edad de las redes, los incrementos de caudal durante las lluvias y los desbordamientos constituyen señales importantes, pero no permiten definir por sí solos la intervención requerida.

Las decisiones deberán sustentarse en la relación entre configuración, condición, comportamiento hidráulico, afectaciones sanitarias, capacidad de tratamiento y características territoriales. A partir de esta evidencia podrán diferenciarse necesidades de mantenimiento, rehabilitación, corrección de conexiones, separación funcional, separación física progresiva, fortalecimiento pluvial o reconfiguración por cuencas.

La finalidad no será construir dos redes completas en todo el territorio de manera indiscriminada, sino reducir de manera verificable las aportaciones inadecuadas, proteger la capacidad sanitaria, disminuir riesgos de desbordamiento y mejorar el desempeño del tratamiento.



3.6.5 Agua tratada, recuperación de recursos y economía circular

El agua residual tratada puede constituir un recurso estratégico para fortalecer la sostenibilidad del sistema hídrico, siempre que su calidad sea compatible con el uso previsto y que existan condiciones técnicas, sanitarias, ambientales, territoriales e institucionales para su aprovechamiento. Su potencial no depende únicamente del volumen producido por las plantas de tratamiento, sino de la capacidad para mantener una calidad estable, conducir el agua hacia los usuarios, almacenarla, monitorearla y gestionar los riesgos durante toda la

cadena de servicio.

Esta precisión es indispensable para evitar que la existencia de capacidad de tratamiento se interprete automáticamente como disponibilidad de agua para reúso. Una planta puede producir un efluente que cumpla las condiciones aplicables para descarga y, al mismo tiempo, requerir procesos adicionales para un uso específico. También puede existir agua con calidad adecuada, pero carecer de demanda, infraestructura de distribución, almacenamiento o mecanismos institucionales que permitan aprovecharla de forma continua.

La NOM-001-SEMARNAT-2021 regula la calidad de las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación; por tanto, su cumplimiento no acredita por sí solo la aptitud del agua para cualquier modalidad de aprovechamiento. La NOM-003-SEMARNAT-1997 establece límites para las aguas residuales tratadas que se reutilicen en servicios al público. En consecuencia, la calidad requerida debe relacionarse con el uso previsto y con las disposiciones sanitarias y ambientales aplicables en cada caso (SEMARNAT, 1998; 2022).

Aprovechamiento conforme al uso previsto.

La evaluación deberá adoptar un enfoque de calidad adecuada para el uso o *fit for purpose*. Esto significa que el nivel de tratamiento, las barreras de protección, el monitoreo y los controles operativos deben corresponder con el grado de exposición y los riesgos asociados al destino del agua.

Los posibles usos industriales, agrícolas, urbanos, ambientales o de servicios presentan requerimientos diferentes. Una calidad compatible con el riego de determinadas áreas no necesariamente resulta suficiente para usos con mayor contacto humano; de igual forma, exigir el nivel máximo de tratamiento para todos los destinos puede generar consumos energéticos y costos innecesarios.

Las directrices de la Organización Mundial de la Salud recomiendan que el aprovechamiento de aguas residuales se sustente en objetivos de protección de la salud, evaluación de riesgos, barreras múltiples y monitoreo verificable, en lugar de depender exclusivamente de una medición final del efluente (OMS, 2006).

La definición de un uso deberá considerar no sólo la calidad promedio, sino también su estabilidad, la capacidad para responder ante desviaciones, el tiempo requerido para detectar un incumplimiento y los procedimientos para suspender o redirigir el suministro cuando no se mantengan las condiciones previstas.

Diferencia entre tratamiento, reúso y reciclaje.

Para efectos de estas Bases Técnicas, el tratamiento se refiere a los procesos destinados a reducir contaminantes y producir un efluente compatible con una descarga o aprovechamiento determinado. El reúso corresponde al aprovechamiento posterior del agua tratada para un uso distinto o sucesivo. El término reciclaje del agua deberá reservarse para esquemas planificados en los que el recurso recibe tratamiento adicional y se reincorpora de manera controlada a un ciclo de utilización.

Esta diferenciación deberá incorporarse al glosario del documento, porque la existencia de una planta de tratamiento no implica automáticamente que exista un sistema de reúso, y la utilización del agua tratada no representa necesariamente un esquema de reciclaje integral.

Los conceptos que impliquen tratamientos avanzados o una eventual incorporación directa o indirecta a sistemas de abastecimiento requieren una evaluación sanitaria, normativa, tecnológica, ambiental y social específica. La

Organización Mundial de la Salud dispone de orientaciones particulares para el reúso potable, basadas en gestión preventiva del riesgo, control de la fuente, barreras múltiples, monitoreo y aceptación pública. Su referencia permite reconocer esta posibilidad como un campo técnico de análisis, pero no constituye una recomendación automática para adoptarla en el AMG (OMS, 2017).

Relación entre producción y demanda.

El aprovechamiento sostenible requiere una correspondencia temporal y territorial entre la producción del agua tratada y la demanda. No basta con identificar un usuario potencial; deberá conocerse el volumen requerido, la calidad necesaria, los horarios o temporadas de consumo, la continuidad esperada y la capacidad para recibir el agua.
Esta relación puede ser especialmente relevante en actividades industriales, servicios urbanos, riego de áreas verdes, usos agrícolas o demandas ambientales ubicadas cerca de las plantas. Sin embargo, la proximidad geográfica no garantiza por sí misma la viabilidad. Será necesario analizar elevaciones, distancias, costos de bombeo, almacenamiento, derechos de paso, seguridad sanitaria y capacidad institucional para operar una red diferenciada.

Cuando la demanda sea estacional o intermitente, deberá determinarse qué ocurrirá con el agua durante los periodos en los que el usuario no pueda recibirla. Una infraestructura de tratamiento y conducción diseñada únicamente con base en la demanda máxima puede operar de manera ineficiente si no se consideran su variación y las alternativas de descarga o regulación.

La evaluación deberá evitar contabilizar como “agua disponible para reúso” la totalidad del caudal tratado cuando no exista una demanda comprobada o infraestructura capaz de aprovecharlo.

Infraestructura diferenciada y control sanitario.

El reúso requiere una cadena física que puede incluir tratamiento complementario, desinfección, almacenamiento, bombeo, conducción, puntos de entrega, medición y dispositivos para impedir interconexiones con las redes de agua potable.

La confiabilidad de esta cadena debe evaluarse con el mismo rigor que la infraestructura convencional. Una falla en la desinfección, una conexión cruzada, una pérdida de presión o una deficiencia en el almacenamiento puede generar riesgos aunque el agua haya salido de la planta con calidad adecuada.

Por ello, la infraestructura deberá contar con mecanismos de identificación, control, monitoreo y respuesta ante desviaciones. La definición de colores, señalización, dispositivos de protección y procedimientos de operación deberá corresponder con la normativa y las prácticas técnicas aplicables.

La trazabilidad también será indispensable. El sistema deberá permitir conocer el origen, tratamiento, calidad, volumen entregado, destino y condiciones de operación del agua aprovechada.

Eficiencia hídrica, energética y económica.

El aprovechamiento del agua tratada puede disminuir la demanda sobre fuentes convencionales cuando sustituye efectivamente un volumen que de otro modo sería atendido con agua de mayor calidad. Sin embargo, esta contribución debe demostrarse mediante un balance que evite contabilizar beneficios teóricos o duplicados.

El valor de una alternativa deberá analizarse considerando la calidad requerida, la distancia al usuario, el desnivel, el consumo energético, el mantenimiento, la infraestructura existente y el costo del ciclo de vida. Una opción con tratamiento

avanzado puede generar una alta calidad, pero resultar poco sostenible cuando requiere conducción extensa, bombeo continuo o capacidades operativas que no pueden mantenerse.

De manera inversa, una alternativa localizada y con tratamiento ajustado al uso puede proporcionar un beneficio relevante aun cuando aproveche un volumen menor. La evaluación no deberá privilegiar exclusivamente los proyectos de mayor escala, sino la relación entre el volumen sustituido, el riesgo controlado y los recursos necesarios para sostener el servicio.

El agua residual puede representar una fuente de agua, energía y nutrientes; sin embargo, estos beneficios dependen de la calidad, tecnología, escala y gestión de cada sistema. UN-Water reconoce el potencial del aprovechamiento seguro de las aguas residuales, pero subraya la necesidad de mejorar simultáneamente su recolección, tratamiento y gestión de riesgos.

Recuperación de energía, nutrientes y biosólidos.

La economía circular en el saneamiento no se limita al reúso del agua. También puede comprender la recuperación de energía a partir del biogás, el aprovechamiento de nutrientes, la valorización de biosólidos y la reducción del consumo de recursos dentro de las plantas.

Estas posibilidades no deberán presentarse como beneficios automáticos. La viabilidad de la digestión, cogeneración o aprovechamiento de biosólidos depende de la cantidad y características de los lodos, la estabilidad del proceso, la presencia de contaminantes, la escala de la instalación, la demanda energética y el marco sanitario y ambiental.

La prioridad inicial deberá ser asegurar un manejo confiable de los residuos generados. La recuperación de recursos sólo resultará pertinente cuando no comprometa el cumplimiento, la seguridad, la continuidad operativa ni la

protección ambiental.

En las plantas de gran escala puede existir mayor potencial para integrar procesos de estabilización, aprovechamiento energético y recuperación de materiales. En instalaciones menores, podrán resultar más apropiadas soluciones regionales, esquemas compartidos o alternativas de manejo compatibles con sus capacidades operativas.

Orientación hacia conceptos de actuación.

La evidencia disponible permite orientar la evaluación hacia conceptos de actuación de diferente escala. Entre ellos se encuentran el fortalecimiento de los usos existentes, la incorporación de tratamiento complementario conforme al destino, el desarrollo de conducciones diferenciadas, la vinculación con usuarios industriales o urbanos, el aprovechamiento localizado y la recuperación progresiva de energía o materiales.

En determinadas zonas, el concepto podrá consistir en conectar una planta con usuarios cercanos y con demanda estable. En otras, será necesario analizar redes o corredores de agua tratada capaces de atender varios usuarios. También podrán evaluarse configuraciones descentralizadas cuando reduzcan distancias de conducción y faciliten el aprovechamiento cerca del punto de generación.

Los conceptos de aprovechamiento agrícola, industrial, público urbano, ambiental o de mayor nivel de tratamiento deberán permanecer como alternativas sujetas a evaluación. Su viabilidad dependerá de la correspondencia entre calidad, demanda, infraestructura, riesgo, energía, operación y costo.

Los antecedentes técnicos existentes en torno al aprovechamiento de agua tratada deberán utilizarse para identificar opciones y niveles de madurez, pero no deberán presentarse como proyectos aprobados ni como beneficios garantizados.

Gobernanza, usuarios y aceptación.

El aprovechamiento del agua tratada requiere acuerdos claros sobre responsabilidades, calidad, costos, medición, mantenimiento, continuidad y actuación ante incumplimientos. También demanda coordinación entre los responsables del tratamiento, la conducción, la regulación sanitaria, la gestión ambiental y los usuarios.

La participación temprana de los usuarios potenciales resulta necesaria para confirmar la demanda y comprender sus requerimientos. Un proyecto técnicamente viable puede perder sostenibilidad si el usuario modifica su operación, rechaza la calidad, no dispone de infraestructura interna o no puede asumir las condiciones del suministro.
En los usos con mayor contacto humano o percepción pública, la comunicación y la confianza adquieren una relevancia especial. La información deberá ser comprensible, verificable y acompañarse de mecanismos de vigilancia y transparencia.

La regulación del saneamiento debe abarcar toda la cadena, desde la recolección y el tratamiento hasta el reúso seguro, y no limitarse al desempeño aislado de la planta (OMS, 2025).

Recomendación de información.

Consiste en generar un balance metropolitano que relacione la cantidad y calidad del agua tratada con los usos existentes y potenciales, la infraestructura requerida y el volumen de agua potable o de otras fuentes que podría sustituirse efectivamente.

También será necesario integrar la estabilidad de los efluentes, las demandas por zona, los costos de tratamiento y conducción, los consumos energéticos, los

usuarios potenciales y las condiciones jurídicas e institucionales de cada modalidad.

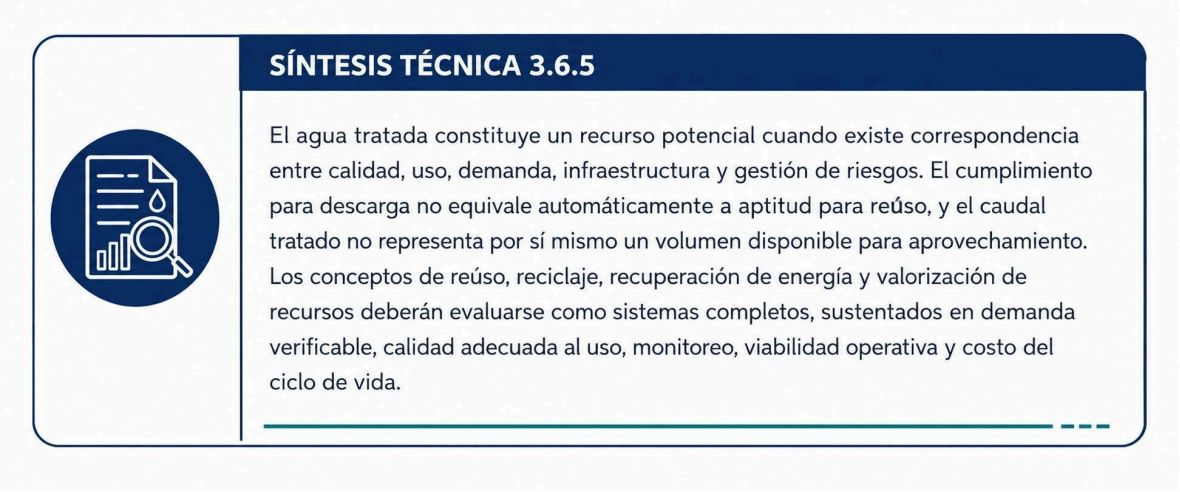
Mientras esta información no se encuentre consolidada, no deberá presentarse el caudal total tratado como volumen disponible para aprovechamiento ni establecerse una meta general de reúso sin identificar su destino y viabilidad.

Implicación para la toma de decisiones.

El aprovechamiento del agua tratada puede fortalecer la seguridad hídrica, reducir presiones sobre fuentes convencionales y mejorar la eficiencia del ciclo urbano del agua. Sin embargo, su contribución dependerá de que exista una demanda real, una calidad compatible, infraestructura diferenciada, monitoreo, capacidad operativa y una distribución clara de responsabilidades.

Las decisiones posteriores deberán partir de un portafolio de conceptos evaluados bajo criterios comunes. La prioridad no deberá definirse únicamente por el mayor volumen potencial, sino por la capacidad de sustituir una demanda existente, controlar los riesgos y mantener el sistema durante su ciclo de vida.

La modernización de plantas, la incorporación de tratamiento adicional o la construcción de conducciones deberá justificarse mediante el uso al que se destinará el agua. De manera correspondiente, la identificación de un usuario no deberá justificar por sí sola una infraestructura si la calidad, continuidad o costo no pueden mantenerse.



3.6.6 Restricciones y capacidades que requieren fortalecimiento

La evaluación del sistema metropolitano de alcantarillado y saneamiento muestra que sus principales restricciones no se concentran exclusivamente en la capacidad nominal de las plantas de tratamiento. Se relacionan con el funcionamiento de toda la cadena: la condición de las redes, la confiabilidad de colectores y cárcamos, las aportaciones no deseadas de agua pluvial, la distribución territorial del tratamiento, la estabilidad de los procesos, el manejo de lodos y la posibilidad real de aprovechar el agua tratada.

Esta perspectiva evita interpretar el saneamiento como un problema que pueda resolverse únicamente mediante nuevas plantas. Una ampliación de capacidad puede tener efectos limitados cuando las aguas residuales no llegan adecuadamente a la instalación, cuando los colectores operan con restricciones o cuando una parte del caudal recibido corresponde a infiltraciones y aportaciones pluviales que ocupan capacidad sin representar generación sanitaria.

La principal necesidad consiste, por tanto, en fortalecer la integración entre recolección, conducción, tratamiento, descarga y aprovechamiento, incorporando una gestión permanente del ciclo de vida de la infraestructura y una lectura territorial del funcionamiento del sistema.

Gestión del ciclo de vida y renovación progresiva de las redes.

La información proporcionada por el SIAPA confirma la coexistencia de redes construidas durante periodos muy diferentes, incluyendo sectores con edades estimadas de entre 61 y 70 años (SIAPA, s. f.). Al compararse con los intervalos orientativos señalados por el MAPAS, de 15 a 30 años para atarjeas y de 20 a 40 años para colectores y emisores, esta condición justifica fortalecer la inspección y la programación de la renovación progresiva (CONAGUA, 2015).

Sin embargo, la antigüedad no constituye por sí misma un diagnóstico de deterioro. La capacidad que debe fortalecerse es un sistema de gestión de activos que relacione la edad con los materiales, diámetros, pendientes, condiciones del suelo, cargas hidráulicas, fallas recurrentes, infiltraciones, reparaciones acumuladas y consecuencias sanitarias de una pérdida de desempeño.

La atención de las redes deberá abandonar gradualmente una lógica predominantemente reactiva, basada en la reparación posterior a obstrucciones, hundimientos o colapsos, y avanzar hacia una gestión preventiva sustentada en catastros actualizados, inspección, indicadores de condición y programación plurianual.

A partir de esta información podrán distinguirse sectores que requieren mantenimiento y limpieza, tramos susceptibles de rehabilitación y componentes cuya condición, criticidad o costo acumulado justifiquen su renovación o sustitución. La necesidad de renovar las redes de alcantarillado debe quedar expresamente reconocida en estas Bases Técnicas, pero su alcance territorial y secuencia deberán derivarse de evidencia verificable.

Recuperación de la capacidad funcional de la conducción sanitaria.

Una segunda restricción se relaciona con la diferencia entre la existencia física de infraestructura y su capacidad funcional para transportar las aguas residuales hasta las plantas de tratamiento. Las obstrucciones, la pérdida de sección, la sedimentación, las fallas estructurales, la insuficiencia de colectores y las limitaciones de los cárcamos pueden reducir el saneamiento efectivo aunque exista capacidad nominal de tratamiento.

La capacidad que requiere fortalecimiento es la articulación entre redes secundarias, colectores, emisores, estaciones de bombeo y plantas. Esta integración permitirá identificar dónde la restricción se encuentra en el tratamiento y dónde deriva de la imposibilidad de captar o conducir los caudales generados.

El fortalecimiento de la conducción podrá orientar conceptos de rehabilitación de colectores, mantenimiento preventivo, renovación de tramos críticos, recuperación de cárcamos o incorporación de infraestructura adicional. No obstante, estos conceptos deberán responder a balances por cuenca y no formularse como una suma de obras independientes.

Separación funcional de los sistemas sanitario y pluvial.

Las entradas de agua pluvial e infiltraciones reducen la capacidad disponible del alcantarillado sanitario y pueden trasladar cargas hidráulicas adicionales hacia los colectores, cárcamos y plantas. El problema no deberá generalizarse a toda el área metropolitana, pero sí reconocerse como una condición que debe caracterizarse territorialmente.

La capacidad que debe fortalecerse consiste en identificar y reducir las aportaciones que no corresponden al sistema sanitario. En una primera etapa, la atención deberá orientarse hacia la separación funcional mediante la corrección de conexiones, rehabilitación de tuberías y pozos de visita, recuperación de la

hermeticidad y fortalecimiento del drenaje pluvial.

La separación física deberá analizarse progresivamente en los sectores donde las condiciones territoriales, las afectaciones recurrentes y la renovación urbana hagan viable desarrollar conducciones diferenciadas. No resulta técnicamente razonable plantear una separación física general e inmediata para todo el territorio sin evaluar la configuración, los costos, las interferencias y los beneficios correspondientes.

La respuesta deberá combinar la gestión del alcantarillado con el manejo del agua pluvial y el funcionamiento hidrológico de las cuencas. Ampliar únicamente las redes sanitarias podría aumentar la capacidad para recibir agua que no debería incorporarse a ellas, sin atender la causa estructural de la sobrecarga.

Distribución territorial de la capacidad de tratamiento.

La capacidad de tratamiento se encuentra concentrada principalmente en instalaciones de gran escala, mientras que algunas subcuencas y zonas de crecimiento dependen de infraestructura de menor capacidad o de conducciones que todavía requieren fortalecimiento.

Esta configuración orienta la necesidad de construir un balance metropolitano que relacione los caudales generados, recolectados, conducidos, recibidos y efectivamente tratados. Sin este balance no puede concluirse con precisión si el déficit se encuentra en las plantas, en los colectores o en la articulación territorial entre ambos.

La capacidad que debe fortalecerse es una planeación del saneamiento por cuencas y subcuencas. Esta planeación permitirá valorar conjuntamente las instalaciones de gran escala y las alternativas de tratamiento distribuido, evitando tanto la concentración excesiva como la multiplicación de plantas que

no dispongan de recursos suficientes para su operación y mantenimiento.

Los antecedentes técnicos correspondientes al nororiente metropolitano, Río Blanco y otras instalaciones deberán utilizarse para analizar conceptos de integración territorial, rehabilitación, crecimiento modular o nueva capacidad. Su existencia no implica que la configuración, capacidad o localización de las alternativas se encuentre definitivamente establecida.

Confiabilidad y modernización de las plantas existentes.

Las plantas de tratamiento enfrentan exigencias derivadas de la variabilidad de los caudales y cargas, la evolución del marco ambiental, el consumo energético, la condición de los equipos y la necesidad de gestionar adecuadamente los lodos.

La capacidad instalada deberá diferenciarse de la capacidad efectiva y del saneamiento funcional. Una planta puede disponer de capacidad nominal y, al mismo tiempo, presentar limitaciones para retirar unidades, responder a incrementos durante las lluvias, mantener la estabilidad del proceso o manejar los residuos generados.

La capacidad por fortalecer comprende la confiabilidad de las obras civiles y equipos, la redundancia interna, la instrumentación, la eficiencia energética, el laboratorio, la desinfección, el manejo de lodos y la capacidad para mantener el cumplimiento de los efluentes durante condiciones diferentes de las ordinarias.

En Agua Prieta, la escala y relevancia funcional orientan el análisis hacia conceptos de optimización, rehabilitación y modernización progresiva. En El Ahogado, la evaluación deberá verificar la integración y desempeño de la capacidad ampliada. En Río Blanco y otras instalaciones, será necesario determinar si la capacidad y configuración actuales corresponden con la

evolución de las cuencas atendidas.

Estas orientaciones permiten reconocer familias de actuación, pero no constituyen todavía proyectos definidos. Las decisiones deberán sustentarse en el diagnóstico de cada instalación y en la evaluación del sistema metropolitano completo.

Control de las descargas que ingresan al alcantarillado.

El desempeño del tratamiento también depende de la calidad de las aguas residuales que ingresan al sistema. Las descargas industriales, comerciales o de servicios pueden incorporar cargas, grasas, tóxicos o compuestos que afecten las redes, los procesos biológicos, los lodos y la calidad del efluente.

La capacidad que debe fortalecerse comprende el monitoreo, la regulación y el control de las descargas al alcantarillado conforme a la NOM-002-SEMARNAT-1996, así como la coordinación entre el organismo operador, las autoridades ambientales y los generadores (SEMARNAT, 1998).

Este control debe entenderse como parte integral del saneamiento y no como una función separada de las plantas. La modernización del tratamiento no será suficiente si continúan incorporándose cargas incompatibles o variables que superen la capacidad de respuesta de los procesos.

Aprovechamiento seguro del agua tratada.

El agua tratada representa una oportunidad para reducir la presión sobre las fuentes convencionales y avanzar hacia esquemas de economía circular. Sin embargo, su aprovechamiento no debe evaluarse únicamente a partir del caudal producido.

La capacidad por fortalecer consiste en vincular la calidad del efluente con demandas verificables, infraestructura diferenciada, almacenamiento, conducción, monitoreo y responsabilidades claras. El cumplimiento para descarga no implica automáticamente aptitud para todos los usos, y el volumen tratado no equivale a un volumen disponible para reúso (SEMARNAT, 1998; 2022; OMS, 2006).

Los conceptos de reúso industrial, agrícola, urbano, ambiental o de tratamientos de mayor nivel deberán evaluarse conforme al uso previsto y a los riesgos correspondientes. También deberán analizarse la recuperación de energía, nutrientes o biosólidos, pero únicamente cuando esas alternativas no comprometan la confiabilidad, la calidad ni la sostenibilidad operativa.

Información, monitoreo y coordinación institucional.

La fragmentación de la información constituye una restricción transversal. Los catastros, reportes de fallas, caudales, calidad, mantenimiento, energía, lodos y cumplimiento pueden encontrarse distribuidos entre diferentes áreas o instituciones y no siempre comparten una fecha de corte o metodología homogénea. La capacidad que debe fortalecerse es un sistema integrado de información para el saneamiento que permita reconstruir el comportamiento de la cadena completa y relacionar los problemas observados en las plantas con las condiciones de las redes, colectores y cuencas.

Esta integración deberá acompañarse de coordinación institucional. El alcantarillado sanitario, el drenaje pluvial, la planeación urbana, las descargas, el tratamiento y el aprovechamiento del agua involucran competencias distintas. La ausencia de reglas claras de coordinación puede trasladar las restricciones entre sistemas y dificultar la prevención de nuevas conexiones o sobrecargas.

Integración de las restricciones.

Las restricciones identificadas se encuentran conectadas. Una red deteriorada puede permitir infiltraciones; las infiltraciones incrementan los caudales; los

mayores caudales saturan colectores y cárcamos; y esa saturación puede reducir el desempeño de las plantas o generar descargas sin tratamiento. De forma semejante, una planta puede disponer de capacidad, pero no recibir los caudales cuando la conducción es insuficiente; o producir agua tratada con calidad adecuada, pero no contar con usuarios o infraestructura para aprovecharla. Por ello, el fortalecimiento del saneamiento no deberá organizarse como una cartera fragmentada de proyectos. Deberá estructurarse alrededor de capacidades complementarias:

redes confiables → conducción funcional → tratamiento estable → descarga controlada o aprovechamiento seguro

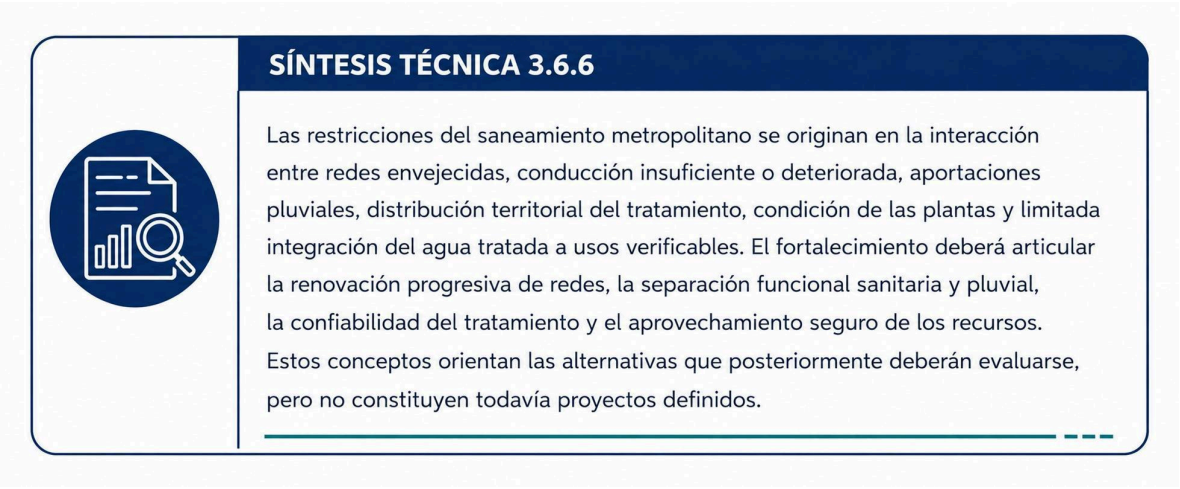
Esta secuencia permitirá orientar conceptos de renovación, rehabilitación, modernización, integración territorial y reúso sin convertirlos anticipadamente en proyectos seleccionados.

Implicación para la toma de decisiones

La evaluación muestra que el sistema requiere fortalecer simultáneamente la gestión del ciclo de vida de las redes, la conducción sanitaria, la separación funcional respecto del drenaje pluvial, la confiabilidad de las plantas y la capacidad de aprovechar de forma segura el agua tratada. Las decisiones posteriores deberán identificar primero la etapa donde se origina cada restricción. No deberá ampliarse una planta cuando la limitación se encuentre en la conducción; tampoco deberá sustituirse una red únicamente por su antigüedad ni promoverse el reúso sin demanda e infraestructura verificables.

Los conceptos de renovación progresiva de redes, fortalecimiento de colectores y cárcamos, modernización de plantas, nueva capacidad territorial o aprovechamiento de agua tratada deberán compararse conforme a la restricción que atienden, sus interdependencias, los riesgos, el desempeño

esperado y el costo del ciclo de vida.



3.7 Evaluación técnica de la gestión integral del agua pluvial y del riesgo de inundaciones

La gestión del agua pluvial constituye un componente del sistema hídrico metropolitano en el que convergen el funcionamiento de las cuencas, la configuración urbana, la infraestructura de drenaje, el estado de los cauces, la ocupación del territorio, el mantenimiento, la información hidrometeorológica y la capacidad institucional para anticipar y atender eventos.

Por esta razón, las inundaciones urbanas no deberán explicarse exclusivamente por la intensidad de la lluvia ni por la insuficiencia de una obra determinada. El riesgo resulta de la interacción entre la amenaza hidrometeorológica, la exposición de personas y activos, la vulnerabilidad territorial y la capacidad disponible para prevenir, responder y recuperarse. Este enfoque es consistente con el Marco de Sendai, que establece como prioridades comprender el riesgo, fortalecer su gobernanza, invertir en resiliencia y mejorar la preparación y recuperación (UNDRR, 2015).

El sistema pluvial tampoco se limita a colectores, canales o vasos reguladores. Comprende las superficies donde se genera el escurrimiento, los cauces y depresiones naturales, las zonas de infiltración y regulación, la infraestructura construida, los puntos de descarga y los mecanismos de operación, monitoreo y

protección civil. Una alteración en cualquiera de estos componentes puede modificar el comportamiento de los demás.

La evaluación deberá evitar dos simplificaciones. La primera consiste en asumir que todos los eventos de inundación se resuelven mediante conducciones de mayor capacidad. La segunda es considerar que la infraestructura convencional ha dejado de ser necesaria y puede sustituirse exclusivamente mediante medidas ambientales o soluciones basadas en la naturaleza. La gestión integral requiere combinar infraestructura hidráulica, mantenimiento, regulación territorial, recuperación de procesos hidrológicos, monitoreo y preparación ante emergencias conforme a las condiciones de cada cuenca.

El crecimiento urbano modifica el ciclo hidrológico al aumentar las superficies impermeables, reducir la infiltración, acelerar la concentración de los escurrimientos y transformar cauces y zonas naturales de regulación. Estos procesos pueden incrementar la exposición y vulnerabilidad incluso sin que cambien las características de una tormenta. El IPCC reconoce que la urbanización, la forma física de las ciudades y la infraestructura interactúan con los fenómenos climáticos para producir riesgos diferenciados y potencialmente encadenados (IPCC, 2022).

El cambio climático deberá incorporarse como un factor de incertidumbre y amplificación potencial, pero no utilizarse como explicación genérica de todas las inundaciones observadas. El diagnóstico deberá diferenciar entre las condiciones derivadas de la transformación urbana, la ocupación de zonas expuestas, la capacidad y mantenimiento de la infraestructura, la ocurrencia de lluvias extraordinarias y las modificaciones futuras que puedan presentarse en los patrones hidrometeorológicos.

Bajo este enfoque, la evaluación del sistema pluvial deberá determinar si la infraestructura y el territorio conservan capacidad suficiente para captar, regular, infiltrar, almacenar y conducir los escurrimientos; dónde se concentran los riesgos; qué componentes requieren mantenimiento, rehabilitación o

renovación; y qué capacidades de monitoreo, modelación, coordinación y respuesta deben fortalecerse.

El propósito del apartado no consiste en definir anticipadamente obras para cada punto de inundación. Busca comprender el funcionamiento de las cuencas y las causas que generan o amplifican las afectaciones, de manera que las alternativas posteriores respondan al origen del riesgo y no únicamente a sus manifestaciones visibles.

3.7.1 Evolución del sistema y del enfoque de gestión pluvial

La infraestructura pluvial del Área Metropolitana de Guadalajara se desarrolló progresivamente para responder a la expansión urbana y a la necesidad de desalojar los escurrimientos generados durante las lluvias. En distintas etapas se incorporaron colectores, canales, cauces revestidos, vasos reguladores, estructuras de cruce, bocas de tormenta y demás obras destinadas a reducir afectaciones en las zonas urbanizadas.

Este proceso permitió atender necesidades inmediatas y acompañar el crecimiento de la ciudad. Sin embargo, la incorporación sucesiva de infraestructura también produjo un sistema heterogéneo, construido en periodos diferentes y relacionado con cuencas que continuaron transformándose mediante la impermeabilización, modificación de cauces, ocupación de zonas de regulación y ampliación de vialidades y desarrollos.

En los modelos tradicionales, el objetivo principal consistía en captar y conducir rápidamente el agua hacia puntos de descarga. Este enfoque continúa siendo necesario en determinados sectores, pero puede resultar insuficiente cuando el incremento de los escurrimientos supera la capacidad de la infraestructura aguas abajo o cuando la aceleración del flujo traslada el riesgo hacia otras zonas de la cuenca.

La evaluación no deberá cuestionar de manera general la infraestructura construida bajo estos criterios. Su función deberá analizarse conforme a las

condiciones para las cuales fue concebida, las modificaciones posteriores del territorio, el mantenimiento recibido y la capacidad que conserva actualmente. Una obra puede seguir cumpliendo adecuadamente su función, requerir rehabilitación o resultar insuficiente debido a cambios acumulados en la cuenca y no necesariamente por una deficiencia original de diseño.

De la conducción del escurrimiento a la gestión del riesgo.

La evolución conceptual de la gestión pluvial ha ampliado gradualmente su objeto. El análisis dejó de concentrarse exclusivamente en el dimensionamiento de tuberías y canales y comenzó a incorporar la regulación de caudales, la conservación de cauces, la prevención de ocupaciones, la infiltración, el almacenamiento temporal, el monitoreo y la preparación ante emergencias.

El MAPAS de la Comisión Nacional del Agua dedica un libro específico al drenaje pluvial urbano y reconoce esta infraestructura como un sistema que debe planearse y diseñarse conforme al comportamiento hidrológico e hidráulico del territorio, no como una suma aislada de conducciones (CONAGUA, 2015).

Este cambio puede representarse mediante la siguiente evolución:

desalojo rápido de escurrimientos → control hidráulico y regulación → gestión integral por cuencas → gestión adaptativa del riesgo

Las etapas no se sustituyen completamente entre sí. La gestión integral conserva las funciones necesarias de captación y conducción, pero las articula con medidas destinadas a reducir la generación del escurrimiento, recuperar capacidad de regulación, disminuir la exposición y fortalecer la respuesta institucional.

Transformación del territorio y modificación de las condiciones de diseño
La infraestructura desarrollada en una determinada etapa puede enfrentar posteriormente condiciones distintas como consecuencia del crecimiento

urbano aguas arriba, la incorporación de nuevas superficies impermeables, la reducción de áreas de infiltración o la modificación de los puntos naturales de escurrimiento.

En estas circunstancias, una afectación no deberá atribuirse automáticamente a la insuficiencia de la obra ubicada en el sitio donde se manifiesta. El origen puede encontrarse en transformaciones ocurridas en otras partes de la cuenca, en obstrucciones, falta de mantenimiento, cruces restrictivos, ocupación de zonas inundables o pérdida de espacios de regulación.

Esta relación obliga a evaluar los eventos desde la cuenca completa. La atención localizada puede disminuir temporalmente una afectación, pero también trasladar mayores caudales hacia otro sector cuando no se consideran los efectos acumulativos aguas abajo.

La gestión territorial adquiere, por tanto, la misma relevancia preventiva que la infraestructura. Evitar la creación de nuevo riesgo mediante criterios de urbanización, protección de cauces y conservación de zonas de regulación puede resultar más efectivo que intentar corregir posteriormente todas las consecuencias mediante obras de mayor dimensión.

Permanencia de la infraestructura convencional.

La evolución hacia una gestión integral no significa que los colectores, canales, vasos y estructuras existentes hayan perdido importancia. En áreas urbanas consolidadas seguirán siendo indispensables para proteger a la población, mantener la movilidad y conducir los escurrimientos que no pueden ser infiltrados o regulados en el sitio donde se generan.

Lo que cambia es el criterio para evaluar su función. En lugar de analizar únicamente si una obra conduce un caudal determinado, será necesario conocer cómo se integra con la cuenca, qué mantenimiento requiere, qué

consecuencias tendría su pérdida de capacidad y cómo se complementa con almacenamiento, infiltración, infraestructura verde y medidas territoriales.

La condición y antigüedad de la infraestructura pluvial también deberán formar parte del diagnóstico. Los canales, colectores, vasos, compuertas, rejillas, estructuras de descarga y equipos de bombeo requieren programas de inspección, conservación, rehabilitación y, cuando la evidencia lo justifique, renovación. La gestión del riesgo no puede depender de infraestructura cuya condición o capacidad funcional se desconoce.

Incorporación del monitoreo y la gestión adaptativa.

La creciente complejidad urbana hace necesario complementar los registros históricos con monitoreo hidrometeorológico, medición de niveles, información territorial y modelos capaces de representar diferentes escenarios.

Los enfoques contemporáneos de reducción del riesgo enfatizan que la infraestructura debe acompañarse de conocimiento, gobernanza, preparación y capacidad de recuperación. El Marco de Sendai coloca la comprensión del riesgo y el fortalecimiento de su gobernanza antes de la selección de medidas, mientras que el IPCC destaca la necesidad de integrar información climática, infraestructura tradicional y verde-azul, capacidades institucionales y planeación urbana (UNDRR, 2015; IPCC, 2022).

La gestión adaptativa implica actualizar los modelos y las decisiones conforme cambian el territorio, el clima, la infraestructura y la información disponible. No supone modificar permanentemente la estrategia sin dirección, sino establecer mecanismos para comprobar resultados, reconocer desviaciones y ajustar las medidas cuando las condiciones observadas difieran de las consideradas inicialmente.

Orientación hacia conceptos de actuación.

La evolución del enfoque permite orientar conceptos de actuación complementarios. En determinados sectores será necesario conservar, rehabilitar o incrementar la capacidad de la infraestructura convencional. En otros, la reducción del riesgo podrá requerir recuperar cauces y zonas de regulación, controlar escurrimientos desde su origen, favorecer la infiltración o modificar criterios de ocupación territorial.

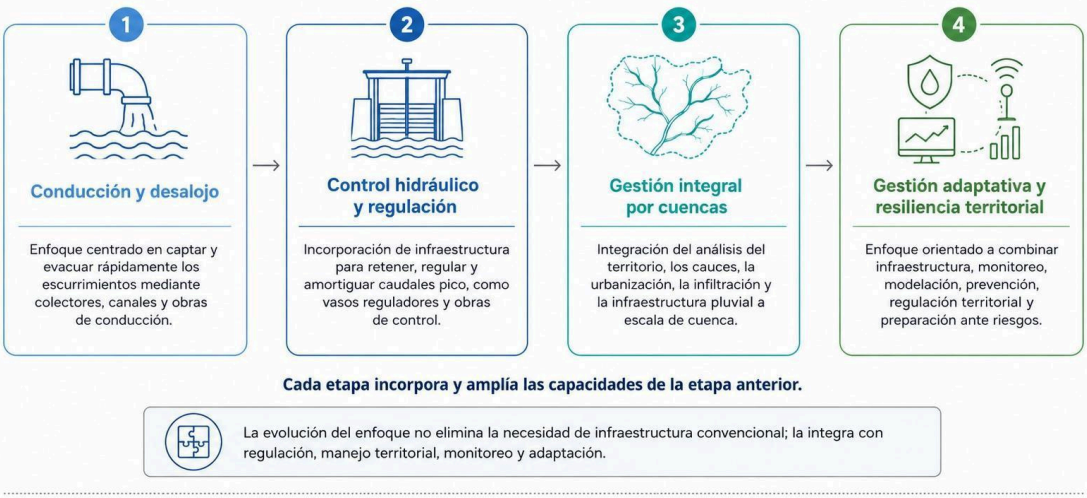
También deberán analizarse conceptos de monitoreo, alerta, modelación, mantenimiento preventivo y coordinación operativa. Estas capacidades pueden reducir consecuencias aun cuando no eliminen completamente la amenaza.

Las soluciones basadas en la naturaleza deberán considerarse cuando las condiciones físicas, ambientales y urbanas permitan obtener beneficios verificables. Su incorporación no deberá responder únicamente a una preferencia conceptual ni utilizarse para sustituir infraestructura necesaria. De la misma forma, la construcción de infraestructura gris deberá demostrar que atiende la causa del riesgo y que no traslada impactos hacia otras partes de la cuenca.

Los conceptos de regulación, infiltración, conducción, almacenamiento, recuperación de cauces, renovación de infraestructura y sistemas de alerta constituyen familias de alternativas. Su combinación deberá determinarse conforme al funcionamiento y las restricciones de cada cuenca, sin presentarse todavía como proyectos definidos.

La Figura 8 sintetiza la evolución conceptual de la gestión pluvial. El cambio no implica abandonar la infraestructura de conducción, sino integrarla con regulación, manejo territorial, monitoreo, prevención y adaptación.

Figura 8. Evolución del enfoque para la gestión integral del agua pluvial y del riesgo



Nota: La figura representa una evolución conceptual y no una secuencia uniforme ni concluida en todo el territorio metropolitano. En una misma cuenca pueden coexistir infraestructuras y prácticas correspondientes a diferentes etapas.

Fuente: Elaboración propia con base en CONAGUA (2015), UNDRR (2015), IPCC (2022) y documentación técnica consultada para las presentes Bases Técnicas.

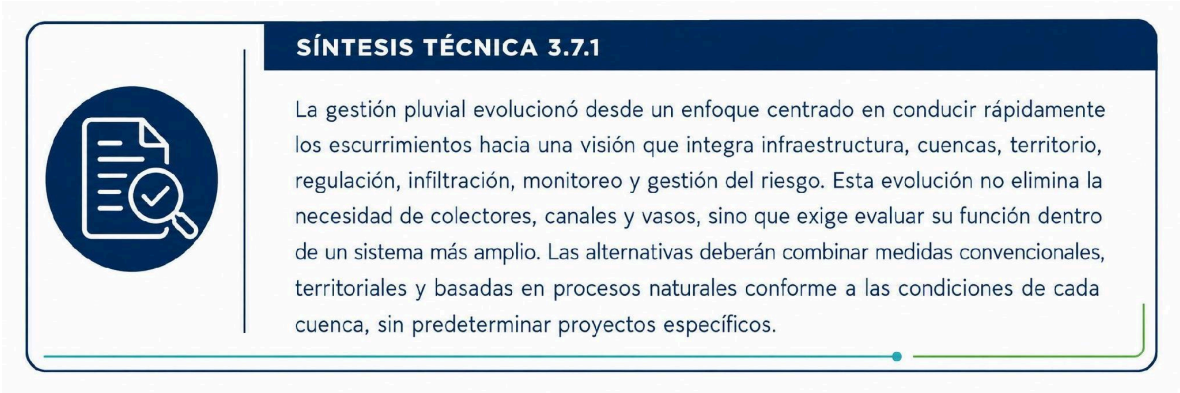
La evolución del enfoque permite reconocer que la reducción del riesgo no depende de sustituir una clase de solución por otra. Requiere articular la infraestructura existente con la gestión territorial, la recuperación de funciones hidrológicas, el monitoreo y la capacidad institucional para responder y actualizar las decisiones.

Implicación para la toma de decisiones.

La evolución del sistema pluvial deberá evaluarse conforme a la relación entre el crecimiento urbano, la transformación de las cuencas y la capacidad funcional de la infraestructura. No será suficiente identificar puntos recurrentes de inundación ni contabilizar las obras construidas.

Las decisiones posteriores deberán determinar en qué sitios la restricción deriva del mantenimiento o deterioro de un componente; dónde existe una insuficiencia hidráulica; dónde el riesgo se origina por modificaciones territoriales; y dónde será necesario combinar infraestructura, regulación, infiltración, restauración y preparación ante emergencias.

Los conceptos de actuación deberán construirse por cuenca y demostrar que reducen el riesgo sin trasladarlo hacia otras zonas. La existencia de estudios o proyectos previos aportará evidencia sobre alternativas, pero no determinará automáticamente su selección.



3.7.2 Transformación hidrológica del territorio metropolitano

La transformación del territorio constituye uno de los factores centrales para comprender la evolución del riesgo pluvial en el Área Metropolitana de Guadalajara. El crecimiento urbano no sólo incrementa la población, las edificaciones y la infraestructura expuesta; también modifica la manera en que la precipitación se infiltra, se almacena, se concentra y circula a través de las cuencas.

Como se documentó en el Capítulo I, la expansión metropolitana ocurrió mediante la incorporación progresiva de nuevas superficies urbanizadas y la integración de territorios con condiciones topográficas, hidrológicas y de ocupación diferentes. Este proceso transformó las condiciones bajo las cuales fueron concebidos numerosos componentes de la infraestructura pluvial.

La sustitución de suelos naturales o permeables por cubiertas, pavimentos, vialidades y otras superficies impermeables tiende a reducir la infiltración y el almacenamiento temporal y a acelerar la generación y concentración de

escurrimientos. El IPCC reconoce que el incremento de las superficies impermeables, junto con la ocupación de áreas que retienen agua y la interacción con precipitaciones intensas, puede aumentar el riesgo de inundaciones urbanas y las afectaciones sobre infraestructura y servicios esenciales.

Sin embargo, no deberá atribuirse el comportamiento actual exclusivamente a la expansión de la mancha urbana. La respuesta hidrológica depende también de la intensidad y duración de las lluvias, la pendiente, los suelos, la vegetación, la condición de cauces y barrancas, la capacidad de las obras existentes, el mantenimiento y la forma en que las diferentes transformaciones se acumulan dentro de una misma cuenca.

Modificación de los procesos de infiltración, almacenamiento y escurrimiento.

En condiciones naturales o menos urbanizadas, una parte de la precipitación puede infiltrarse, almacenarse temporalmente en el suelo, ser retenida por la vegetación o desplazarse lentamente hacia cauces y depresiones. La urbanización modifica estos procesos al reducir la capacidad del territorio para retener y regular el agua cerca del sitio donde se genera.

El resultado no necesariamente se manifiesta sólo mediante un mayor volumen total de escurrimiento. También puede expresarse como una concentración más rápida del flujo, reducción del tiempo disponible para responder, incremento de los caudales máximos y sobrecarga de infraestructura ubicada aguas abajo.

Esta precisión es importante porque una obra puede conservar físicamente la capacidad para la cual fue diseñada y, al mismo tiempo, recibir actualmente una respuesta hidrológica diferente debido a cambios ocurridos en otras partes de la cuenca. En estos casos, la restricción no se encuentra exclusivamente en el

colector, canal o cruce donde se presenta la afectación, sino en la transformación acumulada del territorio que aporta los escurrimientos.

Por ello, el diagnóstico deberá relacionar la infraestructura existente con la evolución del uso del suelo, la impermeabilización, la pérdida de zonas de regulación, la modificación de cauces y la incorporación de nuevas áreas urbanizadas. La comparación entre condiciones históricas y actuales permitirá determinar si los parámetros utilizados en diseños anteriores continúan representando adecuadamente el comportamiento de las cuencas.

Pérdida o reducción de espacios naturales de regulación.

Las depresiones, cauces, barrancas, planicies de inundación, humedales, suelos permeables y otras áreas con capacidad de almacenamiento o infiltración forman parte del funcionamiento hidrológico del territorio, aun cuando no hayan sido concebidas originalmente como infraestructura.

Su ocupación, relleno, canalización, desconexión o reducción puede disminuir la capacidad natural de regulación y trasladar mayores volúmenes y velocidades hacia componentes construidos. Cuando estos espacios se pierden, la infraestructura de conducción debe asumir funciones que anteriormente eran compartidas con el territorio.
Esta condición no significa que toda zona baja deba permanecer sin uso ni que toda restauración ambiental sea técnicamente viable. Requiere identificar cuáles espacios cumplen funciones hidrológicas relevantes, qué grado de transformación presentan y qué consecuencias produciría su pérdida o recuperación.

Las soluciones basadas en la naturaleza pueden apoyar la infiltración, el almacenamiento temporal, la recuperación de cauces y la reducción del riesgo, pero no constituyen una respuesta universal. UNESCO señala que estas soluciones pueden sustituir, complementar o funcionar paralelamente con

infraestructura gris, y que la selección debe buscar una combinación adecuada que maximice beneficios y reduzca costos y compensaciones.

En consecuencia, el diagnóstico deberá evitar tanto la sustitución automática de infraestructura convencional por medidas naturales como la construcción de nuevas conducciones sin analizar previamente las posibilidades de regulación, infiltración y almacenamiento dentro de la cuenca.

Efectos acumulativos dentro de las cuencas.

Las transformaciones urbanas suelen ocurrir mediante numerosos cambios de escala local: un nuevo desarrollo, una vialidad, la pavimentación de un predio, la modificación de un cauce o la ocupación de una zona de regulación. Cada intervención puede parecer limitada cuando se analiza individualmente, pero su efecto agregado puede modificar de manera significativa la respuesta de la cuenca.

Esta acumulación obliga a superar evaluaciones basadas únicamente en predios o proyectos aislados. La autorización de desarrollos y obras deberá considerar no sólo el manejo del agua dentro de sus límites, sino también su contribución al escurrimiento acumulado y la capacidad de la infraestructura aguas abajo.

Una medida de control puede reducir el gasto máximo generado por un desarrollo, pero resultar insuficiente si no se verifica su funcionamiento, mantenimiento y relación con otras intervenciones de la cuenca. De forma semejante, la suma de soluciones locales puede perder efectividad cuando no existe una estrategia territorial que establezca objetivos comunes de regulación, infiltración y descarga.

La planeación por cuencas permitirá identificar dónde conviene retener, infiltrar, conducir o almacenar y cómo se distribuyen los efectos entre zonas aguas arriba y aguas abajo. Esta escala también facilitará distinguir entre afectaciones

originadas localmente y aquellas que reciben contribuciones de territorios más amplios.

Transformación de cauces y trayectorias naturales del agua.

Los cauces naturales, arroyos, barrancas y depresiones conforman rutas mediante las cuales el agua se desplaza y regula durante eventos de lluvia. La rectificación, revestimiento, entubamiento, ocupación o interrupción de estas trayectorias puede modificar velocidades, niveles y puntos de concentración.

La canalización puede resultar necesaria en zonas urbanas consolidadas para proteger a la población y conducir escurrimientos. Sin embargo, su evaluación deberá considerar la continuidad hidráulica, los cruces, las restricciones aguas abajo, la estabilidad estructural, el mantenimiento y las consecuencias que produce la aceleración del flujo.

Cuando una trayectoria natural ha sido ocupada o interrumpida, el agua puede buscar rutas alternativas a través de calles, pasos deprimidos, viviendas u otras infraestructuras. La manifestación visible puede presentarse lejos del punto donde se originó la modificación.

Por ello, los inventarios de puntos de inundación deberán relacionarse con la topografía, las trayectorias históricas de escurrimiento, los cauces existentes y modificados y la configuración de la infraestructura. La atención no deberá limitarse al sitio de acumulación cuando el origen de la restricción se localice en otro sector de la cuenca.

Interacción con el alcantarillado sanitario y otros sistemas urbanos

La transformación del territorio también modifica las interacciones entre el drenaje pluvial, el alcantarillado sanitario, las vialidades, el transporte, la energía y otros servicios urbanos. Cuando la infraestructura pluvial pierde capacidad o no existe, parte del agua puede ingresar a las redes sanitarias mediante

conexiones, tapas, pozos de visita o defectos físicos.

Estas aportaciones reducen la capacidad sanitaria, incrementan la operación de cárcamos y trasladan mayores caudales hacia las plantas de tratamiento, como se desarrolló en el apartado 3.6.4. De manera simultánea, una inundación puede afectar estaciones eléctricas, vialidades, sistemas de transporte, comunicaciones, hospitales y servicios de emergencia.

El IPCC advierte que los eventos urbanos pueden generar riesgos compuestos y consecuencias en cascada sobre distintas infraestructuras y redes de servicios. Esto exige analizar la inundación no sólo como acumulación de agua, sino como una condición capaz de interrumpir funciones esenciales y amplificar vulnerabilidades existentes.

La prioridad de una intervención no deberá depender exclusivamente de la profundidad o extensión del agua. También deberá considerar las instalaciones y servicios afectados, la duración, la frecuencia, la población expuesta y la posibilidad de que una falla produzca consecuencias sobre otros sistemas.

Cambio climático y condiciones no estacionarias.

Las obras pluviales fueron tradicionalmente diseñadas utilizando registros históricos y supuestos de que el comportamiento estadístico de las lluvias permanecía relativamente estable. En la actualidad, la evaluación debe reconocer que el crecimiento urbano y el cambio climático pueden modificar simultáneamente las condiciones de exposición, escurrimiento y precipitación.

Esto no significa que todas las lluvias intensas observadas sean consecuencia directa del cambio climático ni que los registros históricos hayan perdido utilidad. Significa que el diagnóstico deberá analizar la incertidumbre y evaluar si los criterios de diseño, los periodos de retorno y los márgenes de seguridad continúan siendo adecuados frente a las condiciones presentes y futuras.

La gestión adaptativa deberá utilizar escenarios, pruebas de sensibilidad y mecanismos periódicos de actualización. La incertidumbre no debe utilizarse para posponer las decisiones, sino para seleccionar medidas robustas, escalables y capaces de funcionar bajo diferentes condiciones.

El Marco de Sendai establece que la reducción del riesgo requiere comprender la amenaza y la exposición, fortalecer la gobernanza, invertir en resiliencia y preparar la respuesta y recuperación. Estos principios respaldan una evaluación que combine infraestructura, territorio, información y capacidad institucional, en lugar de concentrarse únicamente en la ocurrencia del fenómeno (UNDRR, 2015).

Necesidad de una reconstrucción hidrológica territorial.

La evaluación deberá reconstruir cómo ha cambiado el comportamiento de las principales cuencas metropolitanas. Esto requiere integrar información histórica y actual sobre uso del suelo, superficies impermeables, cauces, zonas de regulación, infraestructura construida, eventos registrados y afectaciones territoriales.

La reconstrucción no tiene como propósito atribuir responsabilidades retrospectivas ni asumir que todas las modificaciones urbanas fueron técnicamente inadecuadas. Busca identificar cómo evolucionaron las condiciones de escurrimiento y qué capacidades debe recuperar o fortalecer el territorio.

Cuando no existan series homogéneas o cartografía suficientemente detallada, deberá registrarse la incertidumbre. La ausencia de información no deberá reemplazarse por afirmaciones generales sobre impermeabilización, pérdida de infiltración o cambio climático sin una base territorial verificable.

La evidencia deberá permitir diferenciar entre cuencas donde la restricción principal se encuentra en la infraestructura, aquellas donde la transformación territorial genera mayores aportaciones y los casos en los que ambos factores interactúan.

Orientación hacia conceptos de actuación.

La transformación hidrológica del territorio orienta el análisis hacia conceptos complementarios y no hacia una única familia de obras. En cuencas urbanizadas y con espacio limitado podrán ser necesarias acciones de mantenimiento, rehabilitación y aumento de capacidad en colectores, canales, cruces o vasos. En sectores donde todavía existen áreas disponibles podrán analizarse medidas de retención, infiltración, restauración de cauces, parques inundables, infraestructura verde y control de escurrimientos desde los predios.

En nuevos desarrollos, la prevención deberá comenzar mediante criterios que eviten trasladar caudales adicionales hacia la infraestructura existente. En áreas consolidadas, las soluciones deberán adaptarse a restricciones de espacio, interferencias, movilidad, propiedad y funcionamiento urbano.

Los conceptos de recuperación del funcionamiento hidrológico, regulación distribuida, infraestructura verde-azul, rehabilitación de infraestructura y protección de zonas de escurrimiento deberán evaluarse por su contribución verificable a la reducción del riesgo y no únicamente por su carácter innovador o ambiental.

La combinación adecuada dependerá de la cuenca, la magnitud del riesgo, la infraestructura existente, las oportunidades territoriales, los costos de mantenimiento y la capacidad institucional para conservar las medidas durante su vida de servicio.

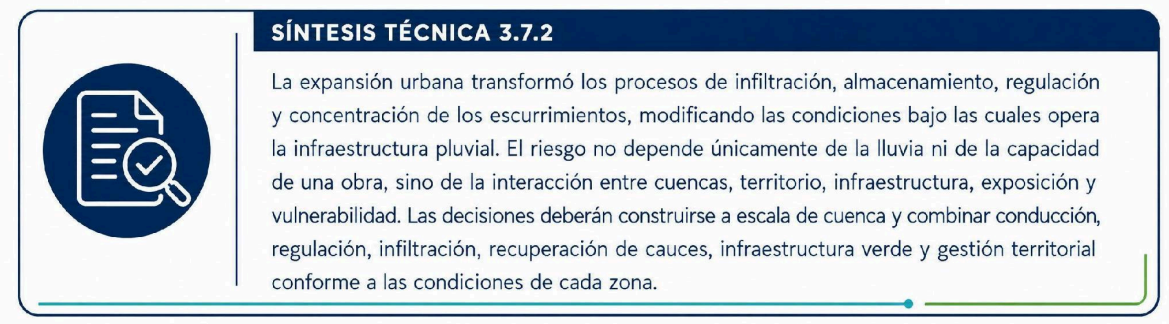
Implicación para la toma de decisiones.

La transformación hidrológica del territorio obliga a que las decisiones sobre infraestructura pluvial se sustenten en una visión de cuenca. No será suficiente atender el punto donde se acumula el agua sin conocer cómo se generan, concentran y desplazan los escurrimientos.

Las alternativas posteriores deberán demostrar si actúan sobre la generación del escurrimiento, su regulación, su conducción, la exposición o la vulnerabilidad. También deberán identificar los posibles efectos aguas abajo y las condiciones de mantenimiento requeridas.

La recuperación de procesos hidrológicos podrá formar parte de la estrategia cuando exista viabilidad técnica y territorial, pero deberá complementarse con infraestructura convencional en los sectores donde la protección de la población y de los servicios no pueda depender exclusivamente de medidas naturales.

La toma de decisiones deberá privilegiar combinaciones de medidas capaces de reducir el riesgo de manera verificable, evitar su transferencia y conservar capacidad de adaptación frente a cambios futuros.



3.7.3 Condición, operación, mantenimiento, renovación y desarrollo de la infraestructura pluvial

La infraestructura pluvial metropolitana está integrada por colectores, canales, cauces naturales y modificados, bocas de tormenta, rejillas, alcantarillas, cruces,

vasos reguladores, estructuras de almacenamiento y control, estaciones de bombeo, obras de descarga y demás componentes destinados a captar, regular, infiltrar, almacenar o conducir los escurrimientos.

Su desempeño no depende únicamente de la capacidad hidráulica prevista durante su diseño. También está condicionado por su estado físico, el mantenimiento recibido, la transformación posterior de las cuencas, la ocupación del territorio, las restricciones ubicadas aguas arriba y aguas abajo y la capacidad institucional para operar el conjunto de manera coordinada.

Por ello, la evaluación no deberá concentrarse exclusivamente en las obras donde se manifiestan las inundaciones. Una afectación visible puede derivar de la pérdida de capacidad de un componente, de la ausencia de infraestructura suficiente, de modificaciones acumuladas en la cuenca o de la interacción de varias de estas condiciones.

El diagnóstico deberá distinguir con claridad entre infraestructura existente que requiere conservación o recuperación de capacidad y déficits estructurales que hacen necesario estudiar y desarrollar nueva infraestructura pluvial.

Esta diferenciación resulta indispensable para evitar tanto la construcción de nuevas obras donde el problema puede resolverse mediante mantenimiento o rehabilitación, como la pretensión de atender mediante conservación una necesidad que requiere capacidad adicional o una configuración distinta.

El Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la Comisión Nacional del Agua incorpora el drenaje pluvial urbano como un sistema que debe analizarse mediante criterios hidrológicos, hidráulicos, territoriales y operativos, y no como una suma aislada de conductos (CONAGUA, 2015).

Condición física y capacidad funcional de la infraestructura existente

La condición de la infraestructura deberá evaluarse considerando simultáneamente su integridad física y su capacidad para responder a las condiciones actuales de la cuenca.

En los colectores cerrados, la pérdida de sección, las deformaciones, los daños en juntas, la corrosión, los asentamientos, las obstrucciones o la acumulación de sedimentos pueden disminuir el gasto conducido. En canales y cauces, la vegetación, los residuos, la erosión de taludes, las modificaciones de sección o las intervenciones no controladas pueden alterar los niveles, velocidades y trayectorias del agua.

Los cruces, alcantarillas, rejillas y estructuras de menor escala también pueden convertirse en puntos de restricción cuando se encuentran obstruidos, deteriorados o reciben caudales superiores a aquellos considerados originalmente.
La evaluación deberá distinguir entre la capacidad física de una obra individual y la capacidad funcional del sistema. Un colector puede conservar dimensiones suficientes en un tramo y, aun así, operar de manera inadecuada cuando la descarga se encuentra restringida, el nivel aguas abajo impide el flujo libre o los componentes conectados no funcionan de forma coordinada.

Esta distinción evitará que las decisiones se limiten a ampliar el punto donde se acumula el agua. Antes de definir una intervención deberá reconstruirse la trayectoria del escurrimiento, las aportaciones recibidas, las condiciones aguas arriba y aguas abajo y la relación con los restantes componentes de la cuenca.

La antigüedad será un indicador para orientar inspecciones, pero no deberá utilizarse como evidencia automática de deterioro o sustitución. La gestión de los activos deberá relacionar condición, función, desempeño, riesgo, mantenimiento y costo durante el ciclo de vida (ISO, 2024). ISO 55000:2024 establece los principios para una administración proactiva de los activos durante su ciclo de vida y conforme al valor que aportan a los objetivos institucionales.

Mantenimiento y recuperación de la capacidad disponible

El mantenimiento constituye una capacidad estructural para conservar el desempeño del sistema pluvial. La limpieza de rejillas, bocas de tormenta, colectores, canales y vasos reguladores puede evitar que una capacidad hidráulica disponible se pierda temporalmente por acumulación de residuos, sedimentos o vegetación.

Sin embargo, el mantenimiento no deberá limitarse a campañas previas al temporal de lluvias ni a la atención posterior de emergencias. Debe avanzar hacia una programación preventiva sustentada en la función de cada componente, su comportamiento histórico, la frecuencia de obstrucciones y las consecuencias que tendría una pérdida de capacidad.

Los registros de limpieza, desazolve, reparación y atención de eventos deberán vincularse con el catastro de infraestructura. Esta integración permitirá reconocer componentes que requieren intervenciones reiteradas, sitios donde el mantenimiento pierde rápidamente efectividad y puntos en los que la afectación responde a una restricción estructural o territorial más amplia.

La recurrencia de una obstrucción no implica necesariamente que deba repetirse indefinidamente la misma acción. Puede revelar aportaciones permanentes de sedimentos o residuos, una geometría que favorece la acumulación, una descarga restringida o la necesidad de modificar la operación de la cuenca.

El mantenimiento también debe comprender compuertas, equipos de bombeo, instalaciones eléctricas, sensores, mecanismos de control y estructuras de descarga. Una obra puede conservar su integridad física y perder su función durante una tormenta cuando sus componentes auxiliares no se encuentran disponibles o no existen protocolos oportunos de operación.

Vasos reguladores y estructuras de almacenamiento

Los vasos reguladores y demás estructuras de almacenamiento temporal desempeñan una función distinta de la conducción. Su propósito consiste en retener parte del volumen, reducir o retrasar los caudales máximos y liberar el agua de manera compatible con la capacidad disponible aguas abajo.

Su desempeño depende de conservar el volumen útil, mantener operativas las entradas y salidas, controlar ocupaciones y evitar que los sedimentos, residuos o modificaciones del terreno reduzcan progresivamente su capacidad.

Una estructura puede permanecer físicamente en el territorio y haber perdido parte de su función por rellenos, asentamientos, obstrucciones, disminución del volumen disponible o cambios en las aportaciones de la cuenca. Por ello, deberá evaluarse la capacidad efectiva y no solamente la capacidad nominal consignada en documentos históricos.

La recuperación de volumen, la rehabilitación de estructuras de control o la incorporación de nuevas áreas de almacenamiento deberán sustentarse en balances hidrológicos e hidráulicos actualizados. Tampoco será suficiente identificar un espacio susceptible de inundarse sin analizar la seguridad, el funcionamiento, la calidad del agua, el mantenimiento y su integración con el territorio.

Estaciones de bombeo e infraestructura electromecánica

En sectores donde la topografía o las condiciones de descarga impiden el desalojo por gravedad, las estaciones de bombeo pueden constituir componentes críticos. Su disponibilidad depende de las bombas, motores, tableros, instalaciones eléctricas, sistemas de control, equipos de reserva y mecanismos para retirar los residuos que puedan afectar su funcionamiento.

La capacidad nominal de bombeo deberá contrastarse con el gasto efectivamente disponible durante un evento. La presencia de varios equipos no

representa redundancia cuando algunos se encuentran fuera de servicio, operan fuera de su rango adecuado o dependen de una misma alimentación eléctrica o sistema de control.

También deberá comprobarse la capacidad para responder ante interrupciones de energía. La existencia de un equipo de respaldo no acredita su disponibilidad si no se cuenta con pruebas, mantenimiento, combustible, protocolos de arranque y personal capacitado.

Las necesidades podrán orientar rehabilitación de bombas, modernización eléctrica, automatización, telemetría, respaldo energético o mejora del manejo de sólidos. Sin embargo, la selección deberá responder al funcionamiento hidráulico del sitio y a la función que la estación desempeña dentro de la cuenca.

Déficit estructural y necesidad de nueva infraestructura pluvial

La adecuada gestión pluvial del Área Metropolitana de Guadalajara no puede alcanzarse únicamente mediante la conservación de las obras existentes. El crecimiento urbano, la expansión de las superficies impermeables, la incorporación de nuevas zonas de desarrollo y la modificación de las trayectorias naturales de escurrimiento pueden generar necesidades que no estaban contempladas cuando se construyeron los sistemas actuales.

En algunos sectores, las afectaciones podrán explicarse principalmente por obstrucciones, deterioro, pérdida de volumen o falta de mantenimiento. En otros, la infraestructura puede conservar buenas condiciones físicas y resultar insuficiente frente a los caudales y configuraciones territoriales actuales. También pueden existir zonas urbanizadas que carezcan de elementos adecuados para captar, regular, almacenar o conducir los escurrimientos.

En estos casos, el diagnóstico deberá reconocer expresamente la necesidad de estudiar y desarrollar nueva infraestructura pluvial. Esta nueva capacidad podrá

orientarse, según las condiciones de cada cuenca, hacia captación, conducción, regulación, almacenamiento, bombeo, infiltración, alivio, descarga controlada o recuperación de trayectorias hidrológicas.

La identificación de nueva capacidad no significa que deban definirse anticipadamente colectores, vasos, canales o estaciones específicas. Significa que las Bases Técnicas deben establecer una agenda de estudios que permita determinar:

- ✔ dónde existe un déficit comprobable;
- ✔ qué función debe fortalecerse;
- ✔ qué capacidad se requiere;
- ✔ qué alternativas pueden atenderla;
- ✔ y cómo se integrará la solución al sistema completo.

La necesidad deberá demostrarse a escala de cuenca. Una obra aislada puede reducir una afectación local y trasladar mayores caudales o niveles hacia otro sector cuando no se consideran los efectos aguas abajo.

Preparación ante el cambio climático.

La infraestructura pluvial deberá evaluarse frente a las condiciones actuales y considerando escenarios futuros de mayor incertidumbre. El cambio climático puede modificar los riesgos que enfrentan las ciudades y sus infraestructuras, mientras que la urbanización y la vulnerabilidad territorial pueden amplificar sus consecuencias (IPCC, 2022). El IPCC destaca que los sistemas climáticos y urbanos interactúan en la generación de patrones de riesgo y pérdida y que los riesgos para ciudades e infraestructura aumentan conforme avanza el calentamiento.

Esto no significa atribuir automáticamente cada inundación al cambio climático ni diseñar toda la infraestructura mediante un único escenario extremo. Implica incorporar análisis de incertidumbre, sensibilidad, adaptación y márgenes de

seguridad al comparar alternativas.

La preparación de la metrópoli deberá sustentarse en sistemas capaces de responder de manera robusta a diferentes escenarios, acompañados por monitoreo, mantenimiento, regulación territorial, sistemas de alerta y protocolos de respuesta.

La infraestructura adaptativa puede desarrollarse mediante soluciones escalables, modulares o progresivas que permitan ampliar o modificar su capacidad conforme se actualicen las condiciones climáticas, hidrológicas y territoriales.

La resiliencia tampoco implica eliminar totalmente la posibilidad de inundación. En eventos extraordinarios puede no resultar técnica o económicamente viable impedir toda acumulación de agua. La gestión deberá reducir la exposición y los daños, controlar las trayectorias del flujo, proteger los servicios esenciales y acelerar la recuperación.

El Marco de Sendai establece como prioridades comprender el riesgo, fortalecer su gobernanza, invertir en resiliencia y mejorar la preparación, la respuesta y la recuperación (UNDRR, 2015).

Infraestructura convencional, verde y soluciones híbridas

La infraestructura que deberá analizarse podrá comprender soluciones convencionales, medidas basadas en procesos naturales o configuraciones híbridas. En sectores densamente urbanizados puede resultar indispensable fortalecer colectores, interceptores, canales, cruces, estaciones de bombeo, estructuras de almacenamiento o conducciones de alivio. En otros territorios podrán evaluarse parques inundables, áreas de retención, recuperación de cauces, sistemas de infiltración, infraestructura verde-azul o medidas de control dentro de los predios.

Estas alternativas no deben enfrentarse como opciones excluyentes. La infraestructura convencional seguirá siendo necesaria para proteger zonas consolidadas y servicios estratégicos, mientras que la regulación distribuida, la infiltración y el almacenamiento pueden reducir la cantidad y velocidad del agua que debe ser conducida.

La selección deberá responder a la causa predominante del riesgo, la disponibilidad territorial, la topografía, los suelos, la densidad urbana, las interferencias y la capacidad institucional para operar y mantener cada medida.
El carácter ambiental o innovador de una solución no acredita automáticamente su eficacia. Toda medida deberá demostrar una reducción verificable del riesgo, una operación compatible con el territorio y un mantenimiento sostenible durante su vida de servicio.

Estudios requeridos para definir la infraestructura necesaria
La identificación de nueva infraestructura deberá sustentarse en estudios que expliquen el funcionamiento actual y futuro de las cuencas. No será suficiente contabilizar puntos de inundación, extrapolar proyectos elaborados bajo condiciones anteriores o dimensionar una obra con información parcial.

La base técnica deberá integrar la delimitación actualizada de cuencas y subcuencas, topografía, trayectorias de escurrimiento, transformación del uso del suelo, impermeabilización, capacidad y condición de la infraestructura existente, eventos históricos, afectaciones y escenarios climáticos.

Sobre esta base deberán desarrollarse modelos hidrológicos e hidráulicos calibrados con información de campo. Los modelos permitirán comparar la condición actual, los escenarios futuros y las combinaciones de medidas, pero su utilidad dependerá de la calidad de los datos, las hipótesis y la validación frente a eventos observados.

La evaluación deberá incorporar también las condiciones geotécnicas, interferencias urbanas, disponibilidad de suelo, derechos de vía, implicaciones ambientales y sociales, costos de operación y mantenimiento, posibilidades de ampliación y efectos aguas abajo.

La maduración deberá avanzar progresivamente mediante la siguiente secuencia:

diagnóstico por cuenca → identificación de déficits → generación de alternativas → prefactibilidad → factibilidad → ingeniería básica → proyecto ejecutivo

No todas las alternativas deberán llegar simultáneamente a la última etapa. El desarrollo de ingeniería corresponderá a aquellas opciones que demuestren pertinencia, viabilidad y una contribución verificable a la reducción del riesgo.
La existencia de un anteproyecto o proyecto previo será un indicador de madurez documental, pero no sustituirá la actualización de las condiciones de la cuenca ni determinará por sí misma su ejecución.

Programa metropolitano de infraestructura pluvial y gestión del riesgo
La magnitud territorial del sistema hace necesario orientar la integración de un programa metropolitano de infraestructura pluvial y gestión del riesgo, organizado por cuencas y con horizontes de corto, mediano y largo plazo.

Este programa no deberá limitarse a una relación de obras. Deberá integrar:

mantenimiento y operación → rehabilitación y renovación → nueva infraestructura → recuperación hidrológica → monitoreo y alerta → regulación territorial → preparación y respuesta

La programación deberá diferenciar las acciones que pueden disminuir riesgos inmediatos de aquellas que requieren estudios, adquisición de suelo, derechos de vía, coordinación intermunicipal o desarrollo progresivo.

También deberá establecer criterios homogéneos para comparar población y servicios protegidos, reducción esperada del riesgo, efectos aguas abajo, costo del ciclo de vida, capacidad de adaptación y requerimientos de mantenimiento.

La visión metropolitana es indispensable porque las cuencas y los escurrimientos no se ajustan a los límites administrativos. Una intervención desarrollada en un municipio puede generar beneficios o consecuencias en otros, por lo que la planeación, el financiamiento, la ejecución y el mantenimiento requerirán mecanismos de coordinación y corresponsabilidad.

Catastro, monitoreo y trazabilidad

La gestión del ciclo de vida y la planeación de nueva capacidad requieren un catastro georreferenciado que identifique la infraestructura existente, su función dentro de cada cuenca, su condición, las intervenciones realizadas y las relaciones con los puntos de afectación.

Los datos deberán diferenciar entre información verificada, registros históricos, estimaciones y componentes pendientes de inspección. Las diferencias entre los planos y las condiciones observadas deberán corregirse antes de utilizarse en modelos o decisiones.

El monitoreo hidrometeorológico y de niveles permitirá conocer cómo responden las cuencas y la infraestructura durante los eventos. Esta información será necesaria para calibrar modelos, comprobar la eficacia de las medidas y ajustar la operación y la planeación.

La medición no debe limitarse a instalar sensores. Requiere continuidad, calibración, transmisión, conservación de registros, interoperabilidad, análisis y protocolos para transformar los datos en decisiones operativas.

Orientación hacia conceptos de actuación

La evaluación deberá orientar tres líneas complementarias.

1. La primera corresponde a conservar y recuperar la capacidad de la infraestructura existente mediante operación, mantenimiento, rehabilitación y renovación.
2. La segunda comprende estudiar y desarrollar nueva infraestructura en las cuencas y sectores donde exista un déficit demostrado de captación, regulación, almacenamiento, conducción, bombeo o descarga.
3. La tercera busca reducir la generación y concentración de escurrimientos mediante ordenamiento territorial, regulación distribuida, infiltración, recuperación de cauces e infraestructura verde-azul.

Estas líneas no deberán formularse de manera independiente. La construcción de nueva infraestructura sin mantenimiento reproducirá gradualmente restricciones; la conservación de los activos existentes puede resultar insuficiente donde el territorio ha modificado sustancialmente los caudales; y las medidas naturales no pueden sustituir por sí solas la infraestructura necesaria para proteger zonas densamente urbanizadas.

Los conceptos de colectores, vasos reguladores, estaciones de bombeo, obras de almacenamiento, conducciones de alivio, parques inundables o sistemas de infiltración deberán mantenerse como alternativas sujetas a estudio. Su definición deberá demostrar que atienden una causa documentada, reducen el riesgo, evitan transferir afectaciones y pueden mantenerse durante su ciclo de vida.

Implicación para la toma de decisiones

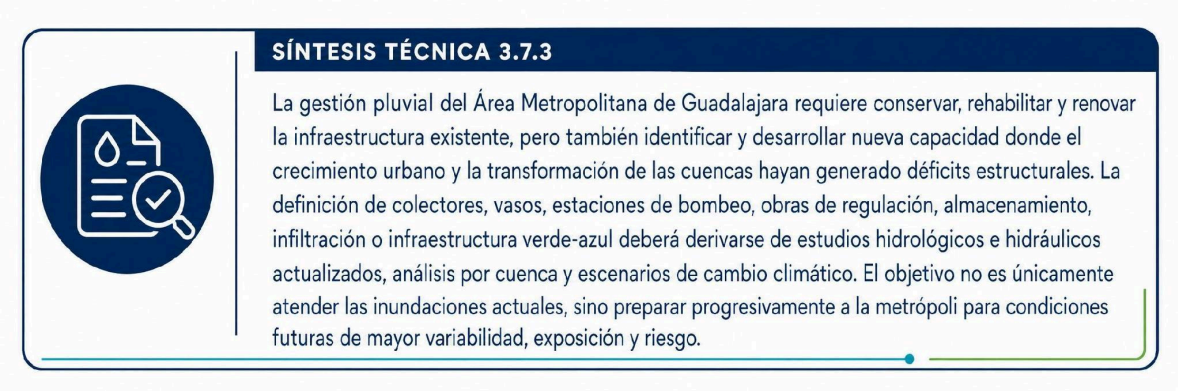
La adecuada gestión pluvial del Área Metropolitana de Guadalajara exige atender simultáneamente la condición de los activos existentes y las brechas de

infraestructura generadas por el crecimiento y la transformación del territorio.

Las decisiones deberán distinguir dónde es suficiente recuperar capacidad mediante mantenimiento, dónde resulta necesaria la rehabilitación o renovación y dónde existe un déficit estructural que exige estudiar y desarrollar nueva infraestructura. La definición de nuevas obras deberá derivarse de estudios por cuenca que incorporen escenarios urbanos y climáticos, modelación hidrológica e hidráulica, posibles efectos aguas abajo, interferencias, viabilidad territorial y costo del ciclo de vida.

El objetivo será construir progresivamente un sistema metropolitano capaz de captar, regular, almacenar, infiltrar y conducir los escurrimientos con mayores márgenes de seguridad, reducir la exposición, proteger los servicios esenciales y fortalecer la adaptación ante condiciones futuras.

Los estudios y proyectos previamente desarrollados deberán considerarse antecedentes y niveles de madurez técnica. Su incorporación a una programación posterior dependerá de la vigencia de sus datos, la restricción que atiendan, los resultados de la evaluación comparada y su compatibilidad con la planeación integral de la cuenca.



3.7.4 Modelación, monitoreo hidrometeorológico y sistemas de alerta

La gestión integral del agua pluvial requiere conocer cómo se genera, concentra y desplaza el escurrimiento, así como anticipar las condiciones que pueden

producir afectaciones sobre la población, la infraestructura y los servicios esenciales. La infraestructura física seguirá siendo indispensable, pero su operación y planeación deberán apoyarse en información hidrometeorológica, modelos actualizados, monitoreo territorial y mecanismos de alerta capaces de transformar los datos en decisiones oportunas.

La modelación, el monitoreo y la alerta no constituyen soluciones independientes ni sustituyen el mantenimiento, la regulación territorial o la infraestructura necesaria. Su función consiste en reducir la incertidumbre, identificar escenarios, apoyar la operación, anticipar consecuencias y orientar la preparación y respuesta frente a eventos que no siempre pueden evitarse por completo.

La Comisión Nacional del Agua reconoce la modelación hidrológica e hidráulica como parte de la planeación y diseño de los sistemas de drenaje pluvial. No obstante, los resultados de un modelo dependen de la calidad de la topografía, la precipitación, el uso del suelo, la delimitación de las cuencas, las características de la infraestructura y la calibración frente a eventos observados (CONAGUA, 2015).

Modelación como soporte para la toma de decisiones

Los modelos hidrológicos permiten estimar la transformación de la precipitación en escurrimiento, mientras que los modelos hidráulicos representan la forma en que el agua circula por cauces, canales, colectores, estructuras y superficies urbanas. Su integración ayuda a comprender no sólo dónde puede acumularse el agua, sino también cómo se origina la afectación y qué consecuencias podría generar una modificación de la infraestructura o del territorio.

La modelación deberá utilizarse para comparar escenarios y no para producir una única representación considerada infalible. Toda simulación incorpora

simplificaciones, parámetros e incertidumbres; por ello, sus resultados deberán acompañarse de una explicación sobre la información utilizada, las hipótesis, el nivel de resolución, las condiciones de frontera y el grado de correspondencia con eventos reales.

Un modelo no calibrado puede reproducir gráficamente una inundación sin representar adecuadamente sus niveles, tiempos, velocidades o causas. En consecuencia, deberá contrastarse con mediciones de lluvia, niveles y caudales, registros de afectaciones, evidencias de campo y testimonios técnicamente verificables.

La actualización deberá considerar los cambios ocurridos en el territorio y en la infraestructura. Los modelos elaborados bajo configuraciones anteriores pueden mantener valor como antecedentes, pero no deberán aplicarse automáticamente cuando hayan cambiado la urbanización, la impermeabilización, los cauces, los colectores, los vasos reguladores o las condiciones de descarga.

Escenarios urbanos y climáticos

La evaluación no deberá limitarse a reproducir eventos históricos. El crecimiento urbano y el cambio climático pueden modificar simultáneamente la generación del escurrimiento, la exposición y las consecuencias sobre la infraestructura y los servicios.

El IPCC reconoce que los riesgos urbanos dependen de la interacción entre los fenómenos climáticos, la forma de las ciudades, la vulnerabilidad y la infraestructura, y que la adaptación requiere considerar diferentes trayectorias y condiciones futuras (IPCC, 2022).

Por ello, los estudios deberán incorporar escenarios que permitan evaluar:

- ✔ cambios razonables en la intensidad y distribución temporal de la precipitación;
- ✔ expansión o densificación urbana;

- ✔ incremento de superficies impermeables;
- ✔ pérdida o recuperación de zonas de regulación;
- ✔ fallas o mantenimiento de componentes relevantes;
- ✔ y combinación de infraestructura existente con nuevas medidas.

Estos escenarios no deberán utilizarse para justificar automáticamente el dimensionamiento máximo de todas las obras. Su propósito será identificar soluciones robustas, escalables y adaptables, capaces de conservar un desempeño aceptable bajo distintas condiciones.

La incertidumbre deberá comunicarse expresamente. Cuando no exista información suficiente para establecer una proyección precisa, será preferible trabajar con intervalos y pruebas de sensibilidad que presentar una cifra única con una certeza que la evidencia no permite sostener.

Red metropolitana de monitoreo hidrometeorológico

La modelación necesita información observada para representar y actualizar el comportamiento de las cuencas. Por ello, deberá evaluarse la cobertura y funcionamiento de la red de monitoreo disponible, incluyendo estaciones de precipitación, medición de niveles, sensores en cauces y vasos, registros de operación de la infraestructura y otras fuentes de información territorial.
La utilidad de la red no depende únicamente del número de equipos instalados. También requiere una distribución compatible con la variabilidad espacial de las lluvias, continuidad de funcionamiento, calibración, mantenimiento, transmisión oportuna, conservación de registros y capacidad para integrar datos provenientes de instituciones distintas.

En una metrópoli extensa, una lluvia puede presentar intensidades y duraciones diferentes entre cuencas cercanas. Los promedios generales pueden ocultar condiciones localizadas relevantes; por ello, la densidad y ubicación de los instrumentos deberá responder a las características del territorio, a los puntos

de riesgo y a las necesidades de calibración de los modelos.

La ausencia temporal de un sensor no deberá dejar al sistema sin capacidad de interpretación. La red deberá diseñarse con niveles razonables de redundancia, procedimientos para identificar datos atípicos y mecanismos para utilizar información complementaria cuando un equipo no se encuentre disponible.

La información deberá conservar trazabilidad: cada registro tendrá que identificar su fuente, ubicación, fecha, unidad, método de medición, estado de calibración y posibles interrupciones. Esta condición es indispensable para evitar que datos de distintas calidades sean utilizados como si fueran equivalentes.

Integración, interoperabilidad y gobierno de los datos

Los registros hidrometeorológicos, hidráulicos, territoriales y de afectaciones suelen encontrarse distribuidos entre diferentes dependencias, municipios, organismos operadores, instituciones académicas y áreas de protección civil. La fragmentación reduce su utilidad, dificulta la reconstrucción de los eventos y puede generar modelos elaborados con bases incompatibles.

La capacidad que debe fortalecerse no consiste únicamente en concentrar toda la información en una plataforma, sino en establecer criterios comunes de identificación, formatos, metadatos, control de calidad, intercambio, actualización y resguardo.

La interoperabilidad deberá permitir relacionar la precipitación con los niveles registrados, el funcionamiento de la infraestructura, los reportes ciudadanos, los cierres viales y las afectaciones sobre servicios estratégicos. Esta integración facilitará pasar de la simple observación meteorológica a una interpretación de los posibles impactos.

También será necesario establecer responsabilidades sobre la propiedad, validación, custodia y difusión de los datos. La información de interés público deberá comunicarse de manera accesible, mientras que los detalles que puedan comprometer la seguridad o la operación de infraestructura crítica deberán sujetarse a mecanismos institucionales de protección.

Del monitoreo a la alerta temprana

Un sistema de alerta no consiste solamente en instalar sensores o emitir avisos cuando la lluvia ya ha generado afectaciones. Debe integrar conocimiento del riesgo, observación y pronóstico, comunicación oportuna y capacidad efectiva de respuesta. Los marcos internacionales para sistemas de alerta temprana centrados en las personas reconocen cuatro componentes interdependientes:

conocimiento del riesgo → detección, monitoreo y pronóstico → comunicación de la advertencia → preparación y respuesta

La falla o desarticulación de cualquiera de estos componentes puede reducir la efectividad del sistema, incluso cuando exista tecnología avanzada (UNDRR, 2017; WMO et al., 2018).

El conocimiento del riesgo deberá identificar las zonas, personas, servicios e infraestructuras expuestos. El monitoreo deberá detectar la evolución del evento y estimar sus posibles consecuencias. La comunicación tendrá que emitir mensajes oficiales, oportunos, comprensibles y accionables. Finalmente, la preparación deberá establecer qué institución y qué población deben actuar ante cada nivel de advertencia.

Por ello, una alerta técnicamente correcta puede resultar ineficaz cuando llega tarde, utiliza lenguaje ambiguo, no identifica las zonas potencialmente afectadas o no está vinculada con protocolos de actuación.

Umbrales e información orientada a impactos

Los umbrales no deberán definirse exclusivamente mediante una cantidad uniforme de precipitación para toda el área metropolitana. Una misma lluvia puede producir consecuencias diferentes dependiendo de la cuenca, la saturación antecedente, la topografía, la capacidad de la infraestructura, el nivel de los vasos y la exposición territorial.

La evaluación deberá avanzar hacia umbrales diferenciados que relacionen las condiciones hidrometeorológicas con impactos observados. Esto implica analizar qué combinaciones de intensidad, duración, acumulación, niveles y estado de la infraestructura han producido históricamente afectaciones y bajo qué condiciones territoriales ocurrieron.

Los umbrales deberán revisarse conforme se acumulen nuevos datos. No deben considerarse valores permanentes cuando cambian la infraestructura, la urbanización, los cauces o los patrones de exposición.

La advertencia también deberá comunicar incertidumbre. Cuando exista una probabilidad relevante de afectación, el mensaje tendrá que distinguir entre observación, vigilancia, aviso preventivo y situación de emergencia, conforme a los protocolos institucionales que se establezcan.

Coordinación operativa y preparación

La gestión de alertas requiere coordinación entre las áreas responsables del monitoreo, la operación hidráulica, la protección civil, la movilidad, los servicios de emergencia y los municipios. Las funciones deberán definirse antes de los eventos y no improvisarse durante una tormenta.

El Marco de Sendai señala que la reducción del riesgo exige comprenderlo, fortalecer la gobernanza, invertir en resiliencia y mejorar la preparación para

responder y recuperarse (UNDRR, 2015).

Los protocolos deberán establecer quién valida la información, quién emite la advertencia oficial, qué medidas operativas pueden adoptarse, cómo se comunica a la población y qué acciones corresponden a cada nivel de riesgo.

Esta coordinación podrá incluir el cierre preventivo de pasos deprimidos, operación de compuertas o estaciones de bombeo, protección de instalaciones esenciales, movilización de equipos y comunicación focalizada hacia zonas expuestas. Estas medidas no eliminan la necesidad de infraestructura, pero pueden disminuir significativamente las consecuencias cuando el evento supera la capacidad disponible.

Los procedimientos deberán probarse mediante simulaciones y ejercicios periódicos. Un protocolo que no ha sido ensayado puede presentar tiempos, responsabilidades o canales de comunicación inviables en condiciones reales.

Capacidad metropolitana integrada de monitoreo y soporte a decisiones

La complejidad del AMG orienta la necesidad de fortalecer una capacidad metropolitana permanente para integrar información hidrometeorológica, modelos, estado de la infraestructura, pronósticos, afectaciones y protocolos operativos. Esta capacidad puede apoyarse en un centro o sistema integrado de monitoreo y operación, pero no deberá definirse todavía como un proyecto tecnológico cerrado. Su configuración deberá derivarse de las funciones requeridas, las plataformas existentes, las competencias institucionales y las necesidades de interoperabilidad.

El valor de esta capacidad no dependerá del número de pantallas ni de la adquisición de una plataforma específica. Deberá medirse por su aptitud para:

- ✔ conocer el estado de las cuencas y la infraestructura;
- ✔ actualizar pronósticos y escenarios;
- ✔ identificar posibles impactos;

- ✔ emitir información confiable;
- ✔ apoyar decisiones operativas;
- ✔ conservar registros;
- ✔ y evaluar posteriormente la eficacia de la respuesta.

La tecnología deberá acompañarse de personal especializado, procedimientos, mantenimiento, respaldo energético y de comunicaciones, ciberseguridad y mecanismos para conservar el conocimiento institucional.

Orientación hacia conceptos de actuación

La evaluación podrá orientar conceptos relacionados con el fortalecimiento de la red de monitoreo, la actualización de modelos, la integración de bases de datos, el desarrollo de umbrales de impacto, la consolidación de capacidades de alerta y la articulación de un sistema metropolitano de soporte a decisiones. Estos conceptos no deberán presentarse como proyectos independientes.

Forman parte de una misma capacidad para comprender, anticipar y gestionar el riesgo pluvial. La selección de equipos, plataformas, modelos y mecanismos de comunicación deberá mantenerse abierta hasta conocer el inventario existente, las brechas de cobertura, la calidad de los datos, las competencias institucionales y los costos de operación y actualización.

La incorporación de nuevas tecnologías deberá demostrar que mejora la detección, el tiempo de anticipación, la confiabilidad de la información o la capacidad de respuesta. La innovación no deberá valorarse por sí misma, sino por su contribución verificable a la reducción del riesgo.

Vacíos de información

El diagnóstico deberá establecer si existe una cobertura suficiente y continua de observaciones, qué cuencas carecen de medición, qué modelos se encuentran

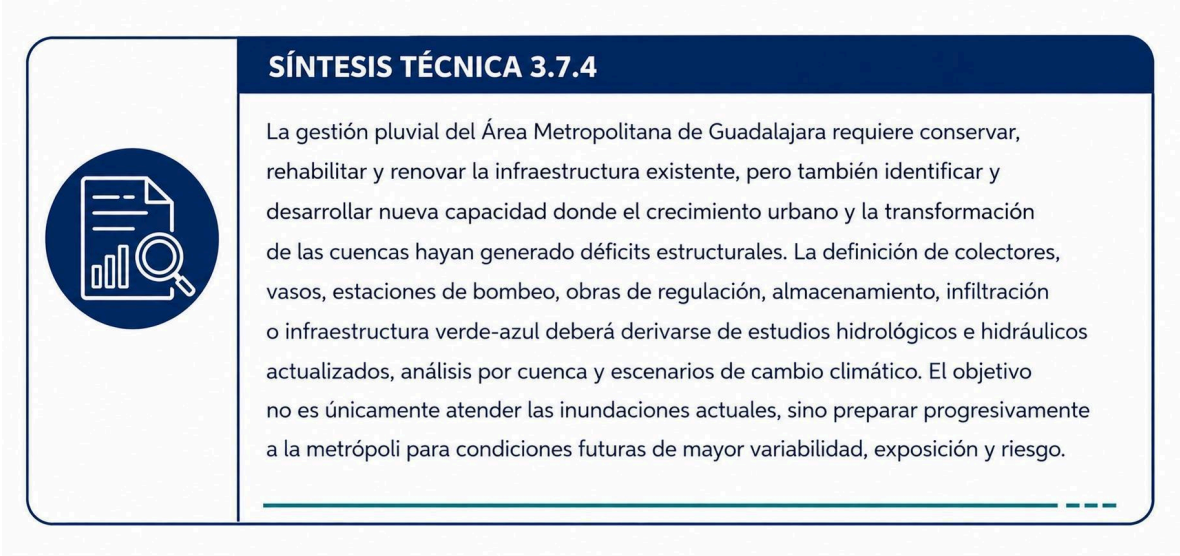
actualizados y calibrados y cómo se relacionan actualmente los datos con los protocolos de operación y protección civil. También deberá verificarse si se conservan series históricas completas, si los eventos se documentan bajo criterios homogéneos y si existe una evaluación posterior que permita conocer qué advertencias, maniobras o medidas funcionaron.

La ausencia de una base consolidada no deberá interpretarse como inexistencia de información. Puede significar que los datos se encuentran fragmentados o bajo formatos incompatibles. La primera etapa deberá orientarse a recuperar, conciliar y valorar lo existente antes de incorporar nuevos sistemas.

Implicación para la toma de decisiones

La modelación y el monitoreo deberán convertirse en capacidades permanentes de gestión y no limitarse a estudios elaborados para justificar una obra o atender una emergencia. Las decisiones posteriores deberán priorizar la continuidad y calidad de la información, la calibración de modelos, la integración institucional y la capacidad para transformar pronósticos en acciones.

El desarrollo de un sistema de alerta deberá abarcar la cadena completa, desde el conocimiento del riesgo hasta la preparación y respuesta. La instalación de sensores sin comunicación y protocolos, o la emisión de avisos sin información territorial suficiente, no constituirán por sí mismas una alerta efectiva. La información obtenida deberá retroalimentar también la planeación de infraestructura. Los eventos observados permitirán comprobar si las obras y medidas reducen el riesgo, identificar nuevas restricciones y actualizar los criterios de diseño y operación.



3.7.5 Gestión por cuencas, regulación, infiltración y soluciones basadas en la naturaleza

La gestión del agua pluvial deberá organizarse a partir del funcionamiento de las cuencas y subcuencas metropolitanas. Los escurrimientos no se ajustan a límites municipales ni administrativos; se generan, concentran y desplazan conforme a la topografía, los suelos, el uso del territorio, la infraestructura y las trayectorias naturales del agua. Por ello, una intervención localizada sólo puede evaluarse adecuadamente cuando se conocen sus efectos sobre el conjunto de la cuenca.

El enfoque por cuencas permite relacionar las zonas donde se genera el escurrimiento con los puntos donde se regula, almacena, infiltra, conduce o descarga. También permite reconocer que una afectación puede manifestarse en un sitio distinto de aquel donde se originó la modificación hidrológica. La planeación deberá superar, por tanto, la atención aislada de puntos de inundación y reconstruir la cadena territorial que explica cada condición.
El MAPAS de la Comisión Nacional del Agua establece que el análisis del drenaje pluvial debe integrar el comportamiento hidrológico de la cuenca con el funcionamiento hidráulico de la infraestructura. Esta relación es necesaria para

definir medidas que respondan a la generación y trayectoria de los escurrimientos, y no únicamente al sitio donde se acumula el agua (CONAGUA, 2015).

Gestión del agua desde su origen hasta la descarga

La gestión por cuencas deberá considerar una secuencia progresiva de actuación:

evitar la generación adicional de riesgo → retener y regular cerca del origen → infiltrar cuando sea viable → almacenar temporalmente → conducir y descargar de manera controlada

Esta secuencia no constituye una regla rígida ni significa que toda el agua deba infiltrarse o permanecer en el lugar donde precipita. Su finalidad es evitar que la conducción rápida se utilice como única respuesta y que los mayores caudales sean trasladados automáticamente hacia zonas ubicadas aguas abajo.

En áreas de nueva urbanización, la prioridad deberá orientarse a evitar que el desarrollo incremente de manera no controlada los caudales y velocidades que recibe la infraestructura existente. En áreas consolidadas, donde la impermeabilización y la ocupación limitan las posibilidades de intervención, podrá ser necesario combinar regulación distribuida, almacenamiento, rehabilitación de infraestructura y nuevas conducciones.

La selección deberá responder a las características de cada cuenca. Una zona con suelos permeables, pendiente moderada y profundidad suficiente del nivel freático puede ofrecer oportunidades de infiltración; otra, con suelos arcillosos, contaminación, inestabilidad geotécnica o elevada densidad urbana, puede requerir principalmente almacenamiento y conducción controlada.

Regulación y almacenamiento temporal

La regulación consiste en disminuir o retrasar los caudales máximos mediante el almacenamiento temporal del agua y su liberación conforme a la capacidad disponible aguas abajo. Puede desarrollarse mediante vasos reguladores, depósitos, parques inundables, estructuras subterráneas, áreas de retención y sistemas distribuidos dentro de predios o espacios públicos.

Su utilidad deberá evaluarse mediante balances de volumen y no únicamente a partir del gasto máximo. Una estructura puede reducir un pico de escurrimiento, pero resultar insuficiente cuando no dispone de volumen útil, cuando la descarga se encuentra restringida o cuando eventos sucesivos no permiten recuperar oportunamente su capacidad. La regulación distribuida puede disminuir la concentración del escurrimiento antes de que llegue a los colectores principales. Sin embargo, su eficacia dependerá de que las medidas funcionen de forma coordinada, se mantengan durante su vida de servicio y cuenten con mecanismos de verificación. La suma de pequeños sistemas sin criterios homogéneos o sin mantenimiento puede producir un beneficio menor al previsto.

La planeación deberá determinar qué volumen conviene gestionar en la parte alta, media y baja de cada cuenca, evitando concentrar toda la responsabilidad en una sola obra. Esto permitirá comparar configuraciones basadas en un gran almacenamiento central con alternativas que distribuyan la regulación entre diferentes sectores.

Infiltración y recuperación de procesos hidrológicos

La infiltración puede contribuir a disminuir los volúmenes y velocidades de escurrimiento, recuperar parcialmente procesos hidrológicos y, bajo determinadas condiciones, favorecer la recarga del subsuelo. Sin embargo, no toda infiltración equivale automáticamente a recarga efectiva de un acuífero ni toda zona resulta adecuada para incorporar agua al terreno.

Esta precisión deberá quedar claramente establecida. Una obra de infiltración puede retener agua en capas superficiales, perder parte del volumen por evapotranspiración o conducirlo hacia formaciones que no se encuentran hidráulicamente conectadas con el acuífero de interés. La cuantificación de beneficios sobre la recarga requerirá estudios hidrogeológicos y seguimiento específico.

La viabilidad deberá considerar la permeabilidad del suelo, la geología, la profundidad del nivel freático, la pendiente, la estabilidad del terreno, la presencia de rellenos, la proximidad de cimentaciones, la calidad del agua, los usos del suelo y el riesgo de movilizar contaminantes.

La infiltración de escurrimientos provenientes de vialidades, zonas industriales o superficies con posibles contaminantes no deberá plantearse sin pretratamiento y evaluación de riesgos. La medida debe proteger la calidad del suelo y del agua subterránea y evitar afectaciones sobre estructuras, laderas o infraestructura enterrada.

Por ello, los conceptos de pozos de absorción, zanjas, pavimentos permeables, jardines de lluvia, áreas de infiltración o estructuras de recarga deberán sustentarse en estudios de sitio. No podrán aplicarse como soluciones genéricas ni dimensionarse exclusivamente mediante una precipitación de diseño.

Soluciones basadas en la naturaleza e infraestructura verde-azul

Las soluciones basadas en la naturaleza buscan utilizar, conservar o recuperar procesos ecológicos e hidrológicos para atender desafíos relacionados con el agua y generar beneficios ambientales y sociales adicionales. El Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de 2018 reconoce que estas medidas pueden complementar o, en determinados contextos, sustituir parcialmente enfoques convencionales, pero su aplicación debe responder a las condiciones y objetivos específicos del sistema (UNESCO y

UN-Water, 2018).

En el ámbito urbano, la infraestructura verde-azul puede incluir recuperación de cauces, áreas de retención, parques inundables, corredores ribereños, humedales, jardines de lluvia, pavimentos permeables, arbolado, techos verdes y otras medidas destinadas a retener, infiltrar, conducir o aprovechar el agua.
Estas medidas pueden aportar beneficios adicionales relacionados con la reducción de islas de calor, recuperación de espacios públicos, biodiversidad, paisaje y calidad ambiental. Sin embargo, los beneficios complementarios no deberán sustituir la demostración de su desempeño hidráulico y su contribución a la reducción del riesgo.

El IPCC reconoce que la infraestructura verde y azul puede fortalecer la adaptación urbana y aportar beneficios múltiples, pero también advierte que la efectividad depende del contexto, la gobernanza, el espacio disponible y la capacidad de implementación y mantenimiento (IPCC, 2022).
Las soluciones basadas en la naturaleza tampoco deben presentarse como infraestructura sin mantenimiento. Los sedimentos, residuos, vegetación, compactación del suelo y modificaciones de uso pueden reducir progresivamente su capacidad. La evaluación deberá considerar quién conservará la medida, con qué frecuencia, bajo qué indicadores y qué ocurrirá si pierde su función.

Configuraciones híbridas

En una metrópoli consolidada, la respuesta más robusta probablemente no dependerá exclusivamente de infraestructura gris ni de medidas naturales. Las configuraciones híbridas permiten combinar colectores, canales, vasos y bombeos con regulación distribuida, infiltración, parques inundables y recuperación de cauces.

La infraestructura convencional puede proporcionar capacidad controlada en zonas donde existe alta exposición y poco espacio disponible. Las medidas verdes y azules pueden reducir parte del volumen, retrasar la concentración y ofrecer beneficios territoriales adicionales. La combinación deberá buscar que cada componente desempeñe la función para la que resulta más adecuado.

La selección no deberá obedecer a una proporción predeterminada entre soluciones grises y verdes. Deberá derivarse de la modelación de alternativas, la disponibilidad territorial, los riesgos, el mantenimiento, la confiabilidad y el costo del ciclo de vida.

UNDRR reconoce que los enfoques basados en ecosistemas pueden contribuir a reducir el riesgo y fortalecer la resiliencia, pero deben integrarse en la planeación, la gobernanza y la gestión general del riesgo, y no aplicarse como medidas aisladas (UNDRR, 2020).

Protección y recuperación de cauces y zonas de regulación.

Los cauces, barrancas, planicies de inundación y depresiones naturales cumplen funciones de conducción y almacenamiento que deben incorporarse a la planeación territorial. Su ocupación o modificación puede trasladar el flujo hacia zonas urbanizadas y aumentar la dependencia de infraestructura artificial.

La recuperación de un cauce no deberá plantearse únicamente como una intervención paisajística. Requiere conocer su sección, continuidad, estabilidad, calidad del agua, aportaciones, ocupaciones, estructuras de cruce y relación con la cuenca.

En determinados sectores será posible recuperar espacio hidráulico, retirar obstáculos, estabilizar márgenes o incorporar áreas de inundación controlada. En otros, la consolidación urbana puede hacer inviable una restauración amplia y requerir soluciones de conducción, protección o almacenamiento compatibles

con las condiciones existentes.

La protección de las zonas que aún conservan capacidad hidrológica puede representar una medida preventiva de alto valor. Evitar su ocupación puede reducir la necesidad futura de infraestructura y los costos asociados a corregir riesgos previamente generados.

Aprovechamiento del agua pluvial

El agua de lluvia puede considerarse un recurso potencial cuando existe una demanda compatible, una calidad adecuada y condiciones de almacenamiento y operación. Su aprovechamiento puede desarrollarse a escala predial, institucional o territorial, pero no deberá confundirse con una solución universal para el riesgo de inundación.

La captación en techos y superficies controladas puede reducir parcialmente la descarga hacia la red y atender usos que no requieren agua potable. Sin embargo, el beneficio hidráulico dependerá del volumen disponible antes del evento, de la capacidad de almacenamiento y de la relación entre la lluvia y la demanda.

Un depósito que permanece lleno por falta de consumo no ofrece capacidad de regulación durante la siguiente tormenta. Por ello, los sistemas deberán analizar conjuntamente la demanda, el vaciado, el mantenimiento, la calidad y el volumen útil.

A escala metropolitana, el aprovechamiento podrá complementar las medidas de regulación, pero no sustituirá la infraestructura necesaria para gestionar eventos que superen la capacidad de almacenamiento o que se generen en superficies no aptas para captación.

Criterios para la evaluación de alternativas

La evaluación deberá demostrar qué función cumple cada medida dentro de la cuenca. Una alternativa podrá orientarse a reducir la generación del escurrimiento, retrasar su concentración, almacenar volumen, infiltrar, proteger una zona expuesta o conducir de manera controlada.

También deberá comprobarse su desempeño bajo diferentes escenarios, su interacción con otras medidas, sus efectos aguas abajo y las consecuencias de una falla o de un mantenimiento insuficiente. La viabilidad no dependerá exclusivamente del costo inicial. Será necesario considerar el suelo requerido, las interferencias urbanas, el consumo energético, la operación, el mantenimiento, la vida de servicio, la capacidad de ampliación y los beneficios territoriales y ambientales.

Las medidas deberán contar con indicadores verificables. En función de su objetivo podrán evaluarse mediante reducción de caudales máximos, volumen regulado, tiempo de retraso, área protegida, disminución de afectaciones, volumen infiltrado, confiabilidad o tiempo de recuperación.

Orientación hacia conceptos de actuación

La evaluación podrá orientar conceptos de regulación distribuida, recuperación de vasos y cauces, parques inundables, infraestructura verde-azul, almacenamiento subterráneo, sistemas de infiltración, captación de lluvia y configuraciones híbridas con nueva infraestructura de conducción o bombeo.

Estos conceptos deberán permanecer abiertos hasta que los estudios por cuenca determinen su función, ubicación, capacidad y relación con la infraestructura existente. La identificación de un predio o espacio disponible no será suficiente para definir una intervención sin conocer su comportamiento hidrológico, disponibilidad jurídica, condiciones del suelo y mantenimiento futuro.

Los proyectos previamente desarrollados en materia de recarga, control pluvial, infraestructura verde o regulación deberán utilizarse como antecedentes técnicos. Su inclusión permitirá conocer alternativas y niveles de madurez, pero no implicará su selección automática.

Coordinación territorial y mantenimiento

La gestión por cuencas requiere coordinación entre municipios, dependencias estatales, organismos operadores, autoridades ambientales, áreas de planeación, protección civil, desarrolladores y propietarios de los espacios donde se implementen las medidas.

Una solución localizada en un municipio puede reducir o incrementar los caudales que recibe otro. Por ello, los criterios de diseño, operación y mantenimiento deberán acordarse a escala metropolitana.

Las responsabilidades deberán definirse desde la planeación. No será suficiente construir infraestructura o recuperar un espacio sin establecer quién lo operará, conservará, inspeccionará y financiará durante su vida de servicio.

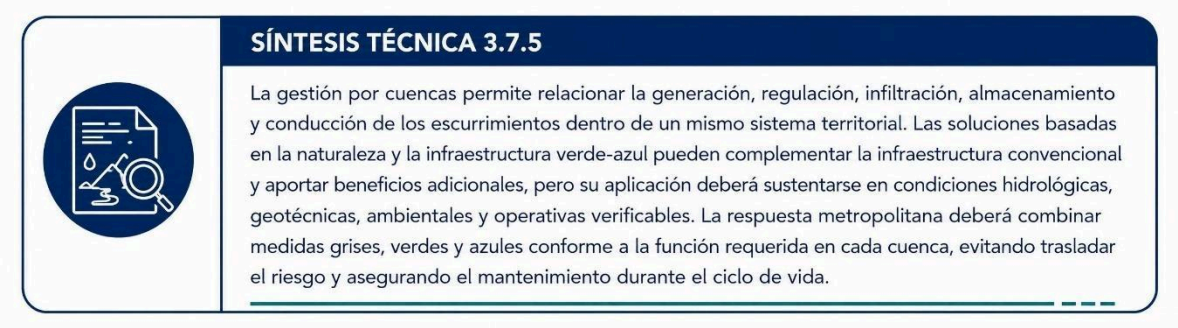
La permanencia de las soluciones basadas en la naturaleza requiere especialmente integrar su función hidráulica con el manejo de áreas verdes y espacios públicos. Una modificación paisajística aparentemente menor puede disminuir la capacidad de regulación o infiltración prevista.

Implicación para la toma de decisiones

La gestión pluvial deberá avanzar hacia una combinación de medidas por cuenca, evitando utilizar la conducción como única respuesta o asumir que las soluciones naturales pueden sustituir toda la infraestructura convencional. Las decisiones deberán diferenciar dónde es posible reducir los escurrimientos

cerca de su origen, dónde conviene regular o almacenar, dónde la infiltración resulta segura y dónde es indispensable fortalecer la conducción, el bombeo o la descarga.

Los conceptos deberán compararse por su capacidad para reducir el riesgo, evitar efectos aguas abajo, adaptarse a escenarios futuros y mantenerse de manera sostenible. La planeación deberá proteger las zonas que aún conservan funciones hidrológicas, recuperar capacidad donde resulte viable y desarrollar infraestructura híbrida en los sectores donde las condiciones urbanas requieran combinar regulación, infiltración y conducción.



3.7.6 Restricciones y capacidades que requieren fortalecimiento

La evaluación del sistema pluvial muestra que el riesgo de inundación en el Área Metropolitana de Guadalajara no puede explicarse mediante una sola causa ni atenderse exclusivamente con una clase de intervención. Las afectaciones se relacionan con la transformación hidrológica del territorio, la condición y capacidad de la infraestructura existente, la ocupación de zonas expuestas, el mantenimiento, la disponibilidad de información y la capacidad institucional para coordinar decisiones a escala de cuenca.

En consecuencia, la restricción principal no consiste únicamente en la insuficiencia de colectores, canales o vasos reguladores. Se vincula con la ausencia de una capacidad metropolitana plenamente integrada para conocer el comportamiento de las cuencas, conservar la infraestructura existente,

identificar los déficits de nueva capacidad, evitar la generación de riesgos adicionales y preparar al territorio ante condiciones futuras de mayor variabilidad.

Esta interpretación es consistente con los enfoques contemporáneos de reducción del riesgo, los cuales reconocen que las inundaciones urbanas resultan de la interacción entre amenaza, exposición, vulnerabilidad, infraestructura y gobernanza, y que su atención requiere combinar conocimiento, inversión en resiliencia, prevención, preparación y recuperación (UNDRR, 2015; IPCC, 2022).

Conocimiento actualizado del funcionamiento de las cuencas

Una primera restricción corresponde a la fragmentación de la información necesaria para comprender cómo se generan y desplazan los escurrimientos. Los registros de lluvia, topografía, uso del suelo, impermeabilización, cauces, infraestructura, mantenimiento y afectaciones pueden existir en distintas instituciones, periodos y formatos, sin conformar necesariamente una base metropolitana homogénea.

Esta condición limita la posibilidad de distinguir si una inundación se origina principalmente en una obra deteriorada, una insuficiencia hidráulica, una modificación territorial, una obstrucción, la ocupación de una trayectoria natural o la combinación de varios factores.

La capacidad que debe fortalecerse consiste en una evaluación permanente por cuencas y subcuencas, sustentada en información georreferenciada, modelos calibrados, monitoreo hidrometeorológico y registros de eventos. Su finalidad no será producir un diagnóstico estático, sino mantener actualizada la comprensión del territorio conforme evolucionen la urbanización, la infraestructura y las condiciones climáticas (CONAGUA, 2015; IPCC, 2022).

Los estudios existentes deberán recuperarse como antecedentes, pero será necesario verificar la vigencia de sus datos, hipótesis y configuraciones. La existencia de un modelo o proyecto previo no acredita que las condiciones que le dieron origen permanezcan sin cambios.

Conservación y recuperación de la infraestructura existente

Una segunda restricción se relaciona con la posible pérdida de capacidad funcional de colectores, canales, cauces, vasos, cruces, rejillas, estaciones de bombeo y estructuras de control debido a sedimentación, obstrucciones, deterioro físico, modificaciones territoriales o mantenimiento insuficientemente sistematizado.

La respuesta deberá avanzar desde una lógica predominantemente reactiva hacia una gestión preventiva del ciclo de vida. Esto requiere catastros actualizados, inspecciones, programas de mantenimiento, registros de fallas, evaluación de criticidad y criterios que permitan diferenciar entre conservación, rehabilitación, renovación, ampliación o reconfiguración (ISO, 2024).

La capacidad que debe fortalecerse no consiste solamente en ejecutar más actividades de limpieza. Implica conocer qué componentes pierden capacidad de manera recurrente, por qué ocurre, qué consecuencias produce y si la acción correctiva mantiene su efectividad o debe sustituirse por una intervención de mayor alcance.

Esta gestión deberá incluir también la infraestructura electromecánica, los sistemas de respaldo, las compuertas, los sensores y los mecanismos de control. La disponibilidad física de una obra no garantiza su funcionamiento durante una tormenta cuando sus componentes auxiliares no se encuentran operativos.

Déficits territoriales y desarrollo de nueva infraestructura

El mantenimiento y la rehabilitación no serán suficientes en todos los sectores. El crecimiento urbano, la impermeabilización y la transformación de las cuencas pueden haber generado condiciones que superen la capacidad originalmente prevista o que requieran funciones de captación, regulación, almacenamiento, conducción, bombeo o descarga inexistentes en determinadas zonas.

La capacidad que debe fortalecerse es la identificación rigurosa de estos déficits y la maduración técnica de alternativas para atenderlos. Esto exige avanzar desde el diagnóstico por cuenca hacia la prefactibilidad, factibilidad, ingeniería básica y, cuando corresponda, el desarrollo de proyectos ejecutivos.

Las Bases Técnicas deben reconocer expresamente la necesidad de estudiar y desarrollar nueva infraestructura pluvial donde exista evidencia de una insuficiencia estructural. Sin embargo, no deberán convertir esa necesidad en una cartera anticipada de colectores, vasos, estaciones o conducciones sin haber demostrado previamente la causa del riesgo, la capacidad requerida, los efectos aguas abajo y la viabilidad territorial.

Los conceptos de nueva infraestructura podrán comprender soluciones convencionales, medidas basadas en procesos naturales o configuraciones híbridas. Su selección deberá responder a la función que se pretende fortalecer y no a una preferencia previa por una tecnología o tipología de obra.

Preparación frente al cambio climático y la incertidumbre

Una cuarta restricción corresponde a la utilización de criterios de planeación y diseño que pueden no incorporar suficientemente la evolución futura del territorio y la incertidumbre climática.

El cambio climático no deberá utilizarse como explicación general de todos los eventos observados. No obstante, la evidencia científica indica que los riesgos urbanos pueden aumentar por la interacción entre cambios en los extremos

climáticos, crecimiento de la exposición, vulnerabilidad e infraestructura insuficientemente adaptada (IPCC, 2022).

La capacidad que debe fortalecerse consiste en incorporar escenarios, análisis de sensibilidad y márgenes de adaptación en los estudios y alternativas. Esto permitirá valorar si una medida puede mantener un desempeño aceptable bajo distintas condiciones y si dispone de posibilidades de ampliación, ajuste o complementación.

La preparación no deberá limitarse al dimensionamiento de obras. También comprende sistemas de alerta, protección de servicios esenciales, rutas seguras de escurrimiento, protocolos de respuesta, continuidad operativa y capacidad de recuperación.

En determinados eventos no será posible eliminar totalmente la amenaza. La resiliencia deberá evaluarse entonces por la capacidad para reducir daños, evitar pérdidas humanas, proteger funciones estratégicas y restablecer oportunamente los servicios (UNDRR, 2015).

Regulación territorial y prevención de nuevo riesgo

La infraestructura pierde efectividad cuando la urbanización continúa incrementando los escurrimientos o ocupando espacios necesarios para su regulación y conducción. Por ello, una restricción estructural corresponde a la separación entre la planeación hidráulica y las decisiones de uso del suelo, urbanización y desarrollo.

La capacidad que debe fortalecerse es la incorporación de criterios hidrológicos y de riesgo en la planeación territorial, las autorizaciones urbanas y la recepción de infraestructura. Los nuevos desarrollos deberán demostrar que no trasladan caudales o riesgos adicionales hacia zonas existentes y que las medidas de control cuentan con condiciones permanentes de operación y mantenimiento.

La protección de cauces, barrancas, depresiones y zonas de regulación puede evitar la creación de necesidades futuras de infraestructura. Cuando estos espacios ya se encuentren transformados, deberá evaluarse qué funciones pueden recuperarse y qué medidas complementarias resultan necesarias.

La corresponsabilidad deberá involucrar a municipios, dependencias estatales, organismos operadores, desarrolladores, propietarios y usuarios. La gestión pluvial no puede depender únicamente de la institución que atiende el punto donde se manifiesta la inundación cuando su origen se distribuye a lo largo de una cuenca.

Regulación, infiltración y soluciones híbridas

La conducción rápida de los escurrimientos seguirá siendo necesaria en diversos sectores, pero no deberá constituir la única respuesta. Una estrategia basada exclusivamente en trasladar mayores caudales puede incrementar las exigencias y el riesgo aguas abajo.

La capacidad por fortalecer consiste en combinar, según las condiciones de cada cuenca, medidas de regulación, almacenamiento, infiltración, recuperación de cauces, infraestructura verde-azul y conducción controlada.

Las soluciones basadas en la naturaleza pueden contribuir a la adaptación, reducir parte del escurrimiento y generar beneficios ambientales y urbanos adicionales. Sin embargo, su efectividad depende del contexto físico, del espacio disponible, de la calidad del agua, del mantenimiento y de su integración con la infraestructura convencional (UNESCO y UN-Water, 2018; IPCC, 2022).

No toda zona resulta apta para infiltración ni toda área verde proporciona una función hidráulica significativa. La selección deberá sustentarse en estudios hidrológicos, geotécnicos, hidrogeológicos, ambientales y operativos. En las zonas consolidadas, las configuraciones híbridas podrán ofrecer una respuesta

más robusta al combinar infraestructura de conducción con medidas distribuidas de regulación y almacenamiento.

Monitoreo, modelación y alerta orientados a impactos.

La información disponible suele utilizarse principalmente para documentar eventos o elaborar estudios específicos. La gestión adaptativa requiere convertirla en una capacidad permanente para anticipar impactos, operar infraestructura y actualizar las decisiones.

La capacidad que debe fortalecerse incluye una red de monitoreo con continuidad, calibración e interoperabilidad; modelos actualizados; umbrales vinculados con afectaciones; y protocolos que conecten la observación con la comunicación y la respuesta institucional.

Los sistemas de alerta temprana deben integrar conocimiento del riesgo, detección y pronóstico, comunicación y preparación. La instalación de sensores o la emisión de avisos aislados no constituye por sí misma un sistema efectivo (UNDRR, 2017).

La configuración tecnológica deberá permanecer abierta hasta conocer las capacidades existentes y las brechas reales. El objetivo no será adquirir una plataforma determinada, sino mejorar la oportunidad y calidad de las decisiones metropolitanas.

Gobernanza metropolitana y continuidad institucional.

Las cuencas atraviesan límites municipales y las causas y consecuencias del riesgo pueden distribuirse entre varias jurisdicciones. Una obra o desarrollo ubicado aguas arriba puede modificar las condiciones de otro municipio, mientras que la infraestructura principal puede requerir operación,

mantenimiento o financiamiento compartido.

La capacidad que debe fortalecerse es una gobernanza metropolitana que permita acordar criterios, compartir información, definir responsabilidades y coordinar la planeación, ejecución y mantenimiento de las medidas. Esta gobernanza deberá incorporar mecanismos de seguimiento y actualización que trasciendan los periodos administrativos. Las obras y medidas pluviales requieren mantenimiento permanente y adaptación conforme cambian las cuencas; por ello, su desempeño no puede depender únicamente de inversiones iniciales.

El programa metropolitano de infraestructura pluvial y gestión del riesgo planteado en estas Bases deberá funcionar como marco de coordinación técnica, sin sustituir las competencias legales de cada institución. Su valor consistirá en organizar las necesidades por cuenca, establecer criterios comunes y mantener la trazabilidad entre el riesgo documentado, los estudios, las alternativas y las decisiones posteriores.

Integración de las restricciones y capacidades

Las restricciones identificadas se refuerzan entre sí. La falta de información puede conducir a intervenciones localizadas; la atención localizada puede trasladar el riesgo; la urbanización puede generar nuevas aportaciones; y la ausencia de mantenimiento puede reducir la capacidad de las obras existentes.

Por ello, la respuesta deberá integrar una secuencia de capacidades complementarias:

conocimiento de las cuencas → prevención territorial → mantenimiento y renovación → desarrollo de nueva infraestructura → monitoreo y alerta → preparación y recuperación

Esta secuencia no representa un orden rígido. Algunas acciones deberán ejecutarse simultáneamente, especialmente cuando existan riesgos inmediatos.

Su función es mostrar que ninguna obra aislada puede sustituir la gestión permanente del territorio, la infraestructura y la información.

Implicación para la toma de decisiones

La evaluación muestra que la gestión pluvial del Área Metropolitana de Guadalajara requiere una combinación de mantenimiento, rehabilitación, renovación, nueva infraestructura, recuperación hidrológica, monitoreo, regulación territorial y preparación ante emergencias.

Las decisiones posteriores deberán sustentarse en diagnósticos por cuenca y encontrar qué causa atiende cada alternativa, qué reducción de riesgo produce, qué efectos genera aguas abajo y qué capacidades de operación y mantenimiento requiere durante su ciclo de vida.

Los estudios y proyectos existentes deberán valorarse conforme a su vigencia y madurez, pero no determinarán automáticamente la programación. Las alternativas deberán compararse bajo criterios hidráulicos, territoriales, climáticos, sociales, ambientales, institucionales y económicos.

La prioridad no deberá establecerse únicamente por la recurrencia visible de las inundaciones. También deberá considerar la población y los servicios expuestos, la criticidad de la infraestructura, la posibilidad de efectos en cascada y la oportunidad de evitar la generación de nuevo riesgo.

SÍNTESIS TÉCNICA 3.7.6

Las restricciones de la gestión pluvial metropolitana derivan de la interacción entre transformación territorial, condición y mantenimiento de la infraestructura, déficits de nueva capacidad, información fragmentada, exposición creciente y limitada coordinación por cuencas. El fortalecimiento deberá integrar conservación y renovación de activos, desarrollo de nueva infraestructura, regulación e infiltración, monitoreo, adaptación climática y gobernanza metropolitana. Estos elementos orientan una agenda de estudios y conceptos de actuación, pero no constituyen todavía una cartera de proyectos definida.

3.8 Evaluación transversal de la eficiencia operativa, energética y digital

La eficiencia operativa, energética y digital constituye una dimensión transversal del sistema hídrico metropolitano. No corresponde exclusivamente al funcionamiento interno del organismo operador ni a la adquisición de equipos tecnológicos. Se relaciona con la capacidad para conocer el estado del sistema, utilizar adecuadamente la infraestructura, reducir pérdidas y consumos evitables, anticipar fallas, coordinar operaciones y sostener la continuidad de los servicios.

Esta evaluación comprende las fuentes de abastecimiento, acueductos, estaciones de bombeo, plantas potabilizadoras, tanques, redes de distribución, alcantarillado sanitario, infraestructura pluvial y plantas de tratamiento. Cada subsistema presenta condiciones distintas, pero todos requieren información verificable sobre caudales, presiones, niveles, calidad, energía, disponibilidad de equipos, fallas y mantenimiento.

La eficiencia no deberá interpretarse únicamente como reducción de costos. En un servicio hídrico, una operación eficiente debe contribuir simultáneamente a la confiabilidad, calidad, continuidad, seguridad, sostenibilidad financiera y capacidad de respuesta. Una disminución del gasto operativo que reduzca el mantenimiento, la redundancia o la calidad del servicio no representa una mejora estructural.

De manera semejante, la transformación digital no deberá medirse por el número de sensores, pantallas, sistemas informáticos o plataformas adquiridas. Su valor dependerá de que la información sea confiable, interoperable y utilizada para orientar decisiones. El diagnóstico global del Banco Mundial sobre digitalización de organismos de agua identifica la estrategia, la gobernanza de datos, las capacidades del personal y la integración de los procesos como dimensiones necesarias para avanzar desde aplicaciones aisladas hacia una transformación digital efectiva (Banco Mundial, 2025).

La eficiencia energética tampoco deberá limitarse a sustituir equipos por modelos de menor consumo. Requiere conocer dónde, cuándo y por qué se utiliza la energía; relacionar el consumo con el volumen producido, bombeado o tratado; revisar la configuración hidráulica; y evaluar conjuntamente la condición de los equipos y las exigencias operativas. La ISO 50001:2018 establece un enfoque sistemático de mejora continua del desempeño energético, incluyendo el uso, consumo y eficiencia de la energía (ISO, 2018).

Las tres dimensiones se encuentran estrechamente vinculadas:

medición confiable → conocimiento operativo → decisiones oportunas → uso eficiente del agua y la energía → mayor confiabilidad del sistema

La ausencia de medición limita la posibilidad de identificar pérdidas, comparar desempeños o evaluar mejoras. Sin embargo, la medición por sí sola tampoco garantiza resultados. Los datos deberán incorporarse a procedimientos, responsabilidades, indicadores y decisiones operativas.

El propósito de este apartado consiste en identificar las capacidades requeridas para avanzar hacia una gestión basada en el desempeño. No se pretende definir una plataforma tecnológica, un sistema de control o un programa específico de equipamiento. Las soluciones deberán derivarse de las funciones que necesitan fortalecerse, de la infraestructura existente, de la madurez institucional y de la posibilidad de sostener los sistemas durante su vida de servicio.

3.8.1 Enfoque sistémico, medición y balances operativos

La evaluación del desempeño deberá comenzar por la construcción de una línea base que permita conocer cómo funciona actualmente el sistema. Antes de plantear automatización, analítica avanzada o nuevas tecnologías será

necesario identificar qué variables se miden, dónde se obtienen, con qué frecuencia, bajo qué precisión y cómo se utilizan.

La información deberá permitir reconstruir los flujos de agua, energía y operación desde las fuentes hasta la entrega, tratamiento o disposición final. Esto implica relacionar las mediciones de componentes individuales y verificar si los datos forman balances consistentes.

La ausencia de un balance no significa necesariamente que no existan mediciones. Puede indicar que los instrumentos pertenecen a sistemas distintos, utilizan periodos diferentes, carecen de calibración homogénea o no se encuentran vinculados con una estructura común de análisis.

De la capacidad instalada al desempeño efectivo

El inventario de infraestructura permite conocer las capacidades nominales de bombas, plantas, tanques, conducciones y equipos. Sin embargo, la capacidad instalada no equivale automáticamente a capacidad operativa disponible.

Una estación de bombeo puede contar con varios equipos y disponer de una capacidad efectiva menor cuando algunos se encuentran fuera de servicio, operan con desgaste, comparten componentes vulnerables o trabajan bajo condiciones hidráulicas diferentes de las consideradas en su selección.

De manera semejante, una planta puede contar con una capacidad nominal determinada y presentar restricciones por mantenimiento, calidad del agua de entrada, disponibilidad de reactivos, energía, procesos auxiliares o manejo de residuos. Un tanque puede disponer de volumen físico y no utilizarlo plenamente cuando la configuración de entradas y salidas, los niveles de operación o la integración con la red limitan su función.

Por ello, deberán distinguirse al menos cuatro conceptos:

capacidad nominal → capacidad disponible → capacidad efectivamente utilizada → desempeño obtenido

La diferencia entre estos conceptos permitirá identificar si una restricción requiere infraestructura adicional, rehabilitación, cambios operativos, mantenimiento, instrumentación o una combinación de medidas.

La gestión de activos aporta el marco para relacionar la capacidad y condición de la infraestructura con los objetivos del servicio, el riesgo y las decisiones durante el ciclo de vida. La ISO 55000:2024 enfatiza una gestión proactiva basada en el valor, la información, la toma de decisiones y el desempeño de los activos a lo largo de su vida útil (ISO, 2024).

Balances de agua y trazabilidad de los caudales.

La eficiencia operativa requiere conocer cuánto volumen se capta, conduce, potabiliza, almacena, distribuye, consume, recolecta y trata. Cada una de estas etapas deberá contar con puntos de medición compatibles que permitan identificar diferencias y explicar sus causas.

En el abastecimiento, el balance deberá relacionar los volúmenes extraídos de las fuentes con aquellos que ingresan a las plantas, son producidos, entregados a los tanques y enviados a las redes. En la distribución, deberá vincular el volumen suministrado con los consumos autorizados, las pérdidas físicas, las diferencias de medición y los usos no contabilizados.

En el saneamiento, el balance deberá contrastar la generación estimada de aguas residuales con los caudales recolectados, conducidos y tratados. Las diferencias pueden estar relacionadas con infiltraciones, aportaciones pluviales, descargas no conectadas, errores de estimación o restricciones de conducción.

En el sistema pluvial, los balances deberán relacionar la precipitación, la transformación en escurrimiento, el almacenamiento, la infiltración y la conducción. Aunque su incertidumbre puede ser mayor que en sistemas cerrados, resultan indispensables para valorar la capacidad de regulación y los efectos de las medidas propuestas.

Los balances no deberán utilizarse únicamente para producir un indicador anual. También deberán apoyar la operación diaria, la identificación de anomalías, la priorización de inspecciones y la evaluación posterior de las intervenciones.

Jerarquía de medición

No todos los componentes requieren el mismo nivel de instrumentación. La arquitectura de medición deberá organizarse conforme a la función, la criticidad y las decisiones que se pretende apoyar.

En el nivel estratégico será necesario conocer los volúmenes generales de las fuentes, conducciones principales, plantas y sectores del sistema. En el nivel táctico deberán medirse zonas, líneas de proceso, estaciones, tanques o distritos que permitan localizar diferencias. En el nivel operativo podrán requerirse mediciones más detalladas para controlar equipos, presiones, niveles, calidad y condiciones de funcionamiento.

Esta jerarquía puede expresarse como:

medición del sistema → medición por subsistema → medición por sector o instalación → medición de componentes críticos

Una instrumentación excesivamente concentrada en equipos individuales puede producir grandes cantidades de datos sin permitir reconstruir el desempeño general. De forma inversa, una medición limitada a los grandes

volúmenes puede ocultar las zonas donde se originan las pérdidas o restricciones.

La selección deberá responder a preguntas concretas: qué decisión se adoptará con el dato, con qué frecuencia se necesita, qué precisión requiere y qué consecuencias produciría una lectura incorrecta o una interrupción de la medición.

Calidad, calibración y continuidad de los datos. La información operativa deberá ser verificable. Un dato transmitido automáticamente no es necesariamente correcto y un registro manual no es necesariamente inválido. La confiabilidad depende del instrumento, la instalación, la calibración, el mantenimiento, la trazabilidad y los controles de calidad.

Los medidores de caudal, presión, nivel, energía y calidad deberán contar con registros sobre su ubicación, características, fecha de instalación, rango, calibración, mantenimiento y condición operativa. Cuando una variable sea estimada, deberá quedar claramente diferenciada de una medición directa.

Las interrupciones deberán documentarse. La sustitución automática de valores ausentes mediante promedios puede mantener la continuidad gráfica de una serie, pero ocultar fallas o generar balances aparentemente consistentes que no representan las condiciones reales. También deberán conciliarse las unidades, periodos y referencias temporales. Dos instrumentos pueden funcionar correctamente y producir diferencias cuando sus registros se integran bajo horarios, cortes o frecuencias distintas. La calidad de los datos deberá evaluarse antes de construir indicadores o modelos. La transformación digital no puede corregir automáticamente errores de medición, catastros incompletos o procesos operativos que no han sido previamente definidos.

Indicadores orientados al desempeño.

Los indicadores deberán permitir interpretar el funcionamiento del sistema y apoyar decisiones. No será suficiente acumular variables sin establecer su significado operativo. En términos generales, los indicadores podrán relacionar:

- ✔ volumen producido y volumen entregado;
- ✔ consumo energético y volumen bombeado o tratado;
- ✔ capacidad nominal y capacidad disponible;
- ✔ horas de operación y disponibilidad de equipos;
- ✔ fallas, reparaciones y tiempos de recuperación;
- ✔ presión, continuidad y calidad del servicio;
- ✔ mantenimiento programado y mantenimiento correctivo;
- ✔ caudal tratado y cumplimiento de la calidad requerida.

No obstante, estos indicadores deberán interpretarse dentro de su contexto. Una estación con mayor consumo específico de energía puede enfrentar una carga hidráulica o una elevación superior; una planta con mayor consumo puede incorporar procesos adicionales de tratamiento; y un componente con más intervenciones puede ser objeto de una estrategia preventiva más intensa.

Por ello, el análisis deberá diferenciar entre indicadores de resultado y de contexto. La comparación sólo será técnicamente válida cuando las instalaciones, periodos y condiciones sean equivalentes o cuando se realicen los ajustes correspondientes.

Los indicadores deberán servir para identificar tendencias y desviaciones, no únicamente para presentar resultados agregados. Una cifra anual puede ocultar variaciones estacionales, fallas intermitentes o periodos de operación anormal.

Integración entre operación y mantenimiento

La información obtenida mediante la medición deberá relacionarse con las actividades de operación y mantenimiento. Una desviación en el consumo energético, el caudal, la presión o la vibración puede constituir una señal temprana de desgaste, obstrucción, fuga o pérdida de eficiencia.

La capacidad que debe fortalecerse consiste en conectar los datos operativos con órdenes de trabajo, inspecciones, reparaciones y decisiones de renovación. Esta integración permitirá conocer no sólo que ocurrió una falla, sino qué condiciones la precedieron, cuánto tiempo permaneció fuera de servicio el activo y qué resultado produjo la intervención.

El mantenimiento preventivo basado únicamente en calendarios puede ser insuficiente cuando no considera la intensidad de uso o la condición real del equipo. De manera complementaria, el mantenimiento basado en condición deberá aplicarse en los activos donde las variables disponibles permitan anticipar una falla con suficiente confiabilidad.

La digitalización puede facilitar esta relación, pero no sustituye la definición de responsabilidades, procedimientos y criterios técnicos. La experiencia internacional muestra que los proyectos digitales centrados sólo en sistemas como SCADA o información geográfica pueden quedar limitados cuando no incorporan gobernanza de datos, capacidades humanas e integración con la operación y el mantenimiento (Banco Mundial, 2025).

Balance energético y relación con el funcionamiento hidráulico

El consumo energético deberá evaluarse junto con el comportamiento hidráulico. El análisis aislado de los recibos eléctricos permite conocer el costo, pero no explica necesariamente dónde se origina la ineficiencia.

Será necesario vincular la energía con el volumen, la altura de bombeo, el tiempo de operación, las presiones, los niveles de los tanques, la condición de las

bombas y la configuración del sistema. Esta relación permitirá distinguir entre consumos asociados a una necesidad física inevitable y aquellos que podrían reducirse mediante rehabilitación, cambios de operación o mejoras en la configuración.

La línea base energética deberá identificar los usos significativos, establecer indicadores y permitir comparar el desempeño antes y después de las medidas. Este enfoque corresponde al ciclo de mejora continua promovido por la ISO 50001:2018 (ISO, 2018).

El análisis no deberá limitarse a estaciones de bombeo de agua potable. También deberá comprender plantas potabilizadoras, cárcamos sanitarios y pluviales, plantas de tratamiento, sistemas de desinfección, aireación, manejo de lodos y equipos auxiliares.

Información para la operación integrada

Los subsistemas metropolitanos mantienen relaciones operativas que pueden no ser visibles cuando cada instalación se analiza de manera independiente. La extracción de una fuente afecta la conducción; la conducción condiciona la producción; los niveles de los tanques influyen en el bombeo y las presiones; y la distribución determina parte de los caudales que posteriormente ingresan al saneamiento.

La capacidad por fortalecer consiste en construir una visión operativa integrada que permita comprender estas relaciones y anticipar las consecuencias de una maniobra, una falla o un mantenimiento programado.

Esto no significa que todos los activos deban controlarse desde un único centro ni que todas las decisiones puedan automatizarse. Requiere que la información crítica sea compartida, que las responsabilidades estén definidas y que las áreas operativas conozcan las condiciones relevantes de los componentes conectados.

La integración deberá priorizar inicialmente los procesos donde una decisión local pueda generar consecuencias sistémicas: cambios de fuente, paro de conducciones principales, mantenimiento de plantas, variaciones importantes en tanques, pérdida de estaciones de bombeo o eventos que afecten simultáneamente varios servicios.

Línea base y madurez operativa y digital

Antes de definir nuevas plataformas deberá evaluarse la madurez existente en materia de instrumentación, telecomunicaciones, sistemas de información, automatización, personal, procedimientos y gobierno de datos.

La evaluación deberá reconocer que pueden coexistir instalaciones con automatización avanzada y otras que dependen de registros manuales. Esta heterogeneidad no deberá resolverse mediante una sustitución general e inmediata. Será necesario determinar qué sistemas continúan siendo funcionales, cuáles pueden integrarse, cuáles requieren actualización y dónde existen brechas que impiden conocer o controlar procesos críticos.

El Banco Mundial propone que la transformación digital se organice conforme al nivel de madurez de cada organismo, mediante diagnósticos, hojas de ruta, fortalecimiento institucional y priorización de funciones, en lugar de asumir una trayectoria tecnológica uniforme (Banco Mundial, 2025).

La línea base deberá incluir también los recursos para sostener los sistemas: licencias, comunicaciones, mantenimiento, calibración, respaldo energético, actualizaciones, ciberseguridad, almacenamiento y personal especializado. Un sistema que no puede mantenerse o actualizarse puede perder confiabilidad y convertirse en una nueva dependencia operativa.

Orientación hacia conceptos de actuación

La evaluación podrá orientar conceptos de ampliación y rehabilitación de la medición, balances de agua y energía, integración de sistemas, automatización de procesos críticos, gestión de mantenimiento, sectorización operativa y desarrollo de indicadores.

Estos conceptos deberán definirse a partir de las brechas identificadas. La instalación de sensores deberá responder a una necesidad de medición; la automatización, a una maniobra que requiere mayor precisión u oportunidad; y la integración digital, a procesos que actualmente no comparten información suficiente.

La prioridad deberá establecerse conforme a la criticidad, el beneficio operativo, la calidad de la información existente, la posibilidad de implementación y el costo del ciclo de vida. No será conveniente digitalizar un proceso que aún no se encuentra definido ni automatizar decisiones para las cuales los datos no son confiables.

La secuencia técnica deberá ser:

definir el proceso → establecer la variable → verificar la medición → integrar la información → apoyar la decisión → evaluar el resultado

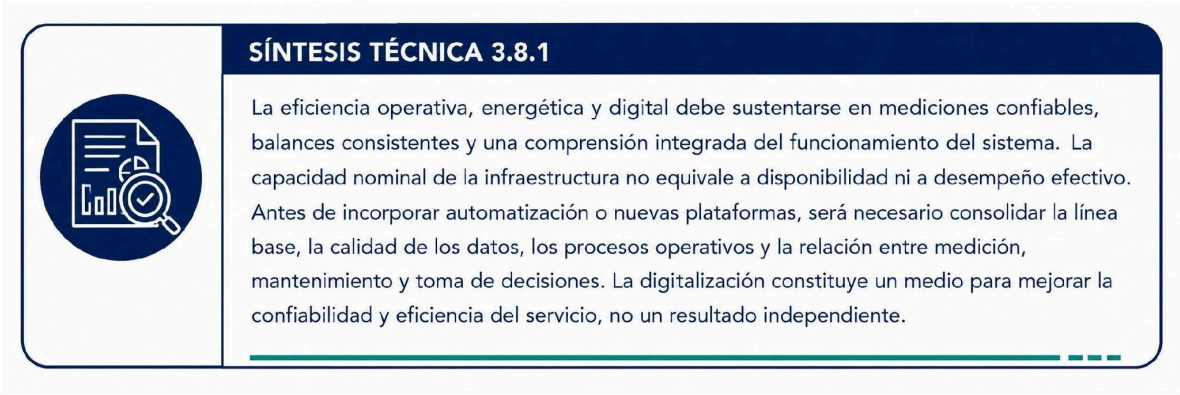
Implicación para la toma de decisiones

La eficiencia operativa requiere una línea base que relacione capacidades nominales, disponibilidad real, volúmenes, energía, condición de activos y desempeño del servicio.

Las decisiones posteriores deberán distinguir si una restricción se origina en falta de infraestructura, pérdida de capacidad, operación inadecuada, ausencia de mantenimiento o información insuficiente. Sin esta diferenciación, una inversión tecnológica o física puede atender el síntoma sin modificar la causa.

La medición, los balances y los indicadores deberán constituir capacidades permanentes. Su finalidad será orientar el mantenimiento, reducir pérdidas, evaluar consumos, anticipar fallas y comprobar si las acciones implementadas producen los resultados esperados.

La transformación digital deberá desarrollarse de manera gradual, interoperable y compatible con la capacidad institucional. Su éxito deberá medirse por la mejora del desempeño y la calidad de las decisiones, no por el número de dispositivos o plataformas instalados.



3.8.2 Eficiencia hidráulica, control de pérdidas y sectorización operativa

La eficiencia hidráulica del sistema de abastecimiento depende de la capacidad para entregar los volúmenes requeridos con presiones, continuidad y calidad compatibles con el servicio, reduciendo al mismo tiempo las pérdidas evitables y el uso innecesario de agua y energía. Esta evaluación no deberá concentrarse únicamente en estimar un porcentaje general de eficiencia. Un indicador agregado puede mostrar la magnitud aproximada de una restricción, pero no permite conocer dónde se pierde el agua, qué causas predominan, qué sectores requieren atención ni qué combinación de medidas resulta técnicamente adecuada.

La gestión de pérdidas deberá partir de un balance confiable y avanzar hacia la localización territorial de sus componentes. La ISO 24528:2021 establece una metodología para investigar las pérdidas en redes de distribución, calcular sus

componentes mediante balances de agua y formular principios generales para su gestión (ISO, 2021).

La Comisión Nacional del Agua también reconoce que el mejoramiento de la eficiencia física requiere integrar medición, diagnóstico de redes, detección de fugas, control operativo y evaluación del desempeño, y no limitarse a la reparación aislada de tuberías (CONAGUA, 2015a; 2015b).

En el Área Metropolitana de Guadalajara, el fortalecimiento de la eficiencia deberá entenderse como una capacidad estructural para conocer y operar la red, recuperar volúmenes que actualmente no cumplen una función útil, disminuir presiones innecesarias, reducir fallas y orientar la renovación progresiva de los componentes de mayor criticidad.

No deberá asumirse que toda diferencia entre el volumen producido y el facturado corresponde a fugas físicas. Tampoco podrá concluirse que todas las pérdidas puedan recuperarse exclusivamente mediante sectorización, sustitución de medidores o campañas de detección. La respuesta deberá construirse a partir de la naturaleza de cada componente.

Diferenciación entre pérdidas reales, aparentes y consumos autorizados no facturados.

El balance de agua deberá distinguir al menos tres componentes principales. Las pérdidas reales o físicas corresponden al agua que se escapa de conducciones, tuberías, válvulas, tanques, conexiones y demás componentes antes de llegar al usuario. Pueden manifestarse mediante fugas visibles, roturas, derrames, reboses o escapes subterráneos que permanecen sin detectar durante periodos prolongados.

Las pérdidas aparentes se relacionan con errores de medición, subregistro de medidores, inconsistencias en las bases de datos, errores de lectura o

facturación, conexiones no registradas y consumos no autorizados. El agua puede haber sido efectivamente utilizada, pero el sistema no la identifica o contabiliza correctamente.

Los consumos autorizados no facturados comprenden volúmenes destinados legítimamente a usos operativos, atención de incendios, limpieza, servicios públicos u otras funciones autorizadas que no generan facturación.

Estas tres componentes forman parte del agua no facturada, pero sus causas y respuestas son diferentes. La literatura técnica internacional advierte que confundirlas puede conducir a programas que aumenten la facturación sin reducir fugas o que reparen redes sin corregir errores de medición y registro (Kingdom, Liemberger y Marin, 2006; ISO, 2021).

La evaluación deberá evitar el uso indistinto de los términos agua no contabilizada**,** agua no facturada y pérdidas físicas. Cada indicador tendrá que acompañarse de una definición, periodo, fuente y método de cálculo.

Balance de agua como línea base.

El primer paso consistirá en establecer cuánto volumen ingresa al sistema y cómo se distribuye entre consumos autorizados, facturados, no facturados, pérdidas reales y pérdidas aparentes. Para que el balance sea confiable, los volúmenes deberán corresponder al mismo periodo y considerar la precisión de los macromedidores, micromedidores y estimaciones utilizadas. Una aparente pérdida puede originarse en diferencias de fechas de corte, instrumentos descalibrados o consumos estimados que no representan las condiciones reales.

El balance deberá comenzar en los puntos donde el agua producida o adquirida ingresa al sistema de distribución y continuar hasta los consumos finales. En redes extensas, un balance metropolitano deberá complementarse con balances por zonas, sectores y subsistemas.La cuantificación no deberá

presentar una precisión superior a la que permiten los datos. Cuando una parte importante del volumen se estime indirectamente, será necesario establecer intervalos de incertidumbre y una calificación de la confiabilidad del balance.

Antes de fijar metas de reducción deberá conocerse qué parte del indicador corresponde a una pérdida demostrada y qué parte deriva de información incompleta. La mejora de la medición puede modificar el resultado estadístico aun antes de que se recupere físicamente un solo metro cúbico.

Macromedición y micromedición

La macromedición permite conocer los volúmenes que ingresan, circulan y se transfieren entre fuentes, plantas, tanques, sectores y redes. Sin esta información no es posible construir balances ni localizar diferencias territoriales.

Los puntos de medición deberán instalarse y mantenerse conforme a la configuración hidráulica y no únicamente donde existe facilidad constructiva. Será necesario evitar condiciones que generen lecturas inestables, perfiles inadecuados, flujo inverso no registrado o rangos de operación incompatibles con el instrumento.

La micromedición permite registrar los consumos de los usuarios y constituye una fuente fundamental para diferenciar entre volúmenes entregados, facturados y aparentemente perdidos. Sin embargo, la presencia física de un medidor no garantiza una lectura confiable.

El desempeño puede verse afectado por antigüedad, rango de caudal, posición de instalación, calidad del agua, desgaste, manipulación, errores de lectura o información incorrecta en el padrón. La evaluación deberá analizar el comportamiento metrológico por tipo, diámetro, edad y perfil de consumo, y no asumir una precisión uniforme.

La sustitución de medidores deberá orientarse mediante pruebas y análisis de subregistro. Reemplazar de manera general equipos que todavía conservan un desempeño adecuado puede producir costos elevados con beneficios limitados; mantener indefinidamente equipos que subregistran puede distorsionar los balances y reducir los ingresos necesarios para operar el sistema.
La CONAGUA reconoce la medición de producción, operación y consumo como un componente indispensable para evaluar la eficiencia física y comercial de los sistemas (CONAGUA, 2015a).

Sectorización hidráulica y distritos de medición

La sectorización consiste en organizar la red en unidades hidráulicas que permitan conocer los volúmenes de entrada, las presiones, los consumos y las diferencias internas. Su finalidad no es solamente dividir físicamente la red, sino crear condiciones para medir, controlar y operar cada sector.

Un distrito de medición deberá contar con límites identificables, entradas y salidas conocidas, medición confiable, información de usuarios y condiciones hidráulicas compatibles con el servicio. Cuando existen conexiones abiertas no registradas, válvulas en posiciones desconocidas o transferencias no medidas, el balance del sector pierde confiabilidad.

La sectorización deberá evaluarse también desde la continuidad y resiliencia. El aislamiento excesivo puede reducir la flexibilidad para responder a fallas o mantenimientos; una configuración demasiado abierta puede dificultar la localización de pérdidas y el control de presiones.
Por ello, los sectores deberán incorporar mecanismos para operar de forma ordinaria y, cuando resulte necesario, recibir apoyos desde zonas contiguas mediante interconexiones controladas. La finalidad será combinar capacidad de medición con flexibilidad hidráulica.

La creación de un sector no representa por sí misma una reducción de pérdidas. Su valor consiste en permitir identificar diferencias, observar tendencias, controlar presiones, detectar cambios y evaluar el efecto de las intervenciones.

La secuencia deberá ser:

delimitar → verificar conexiones → medir → caracterizar consumos → analizar presiones → localizar pérdidas → intervenir → comprobar resultados

Si la sectorización se limita a instalar válvulas y macromedidores sin mantenerlos, actualizar las fronteras y utilizar la información, puede convertirse en infraestructura subutilizada.

Gestión de presiones

La presión constituye una variable central para la calidad del servicio y el control de las pérdidas. Una presión insuficiente puede limitar la continuidad, impedir el abastecimiento de zonas elevadas y favorecer condiciones operativas no deseadas. Una presión excesiva puede aumentar los caudales de fuga, acelerar el desgaste y elevar la frecuencia de roturas.

La gestión no deberá orientarse a reducir indiscriminadamente las presiones. Deberá establecer rangos compatibles con las necesidades de los usuarios, la topografía, la configuración de la red, la atención de emergencias y la protección de los activos.

La evaluación tendrá que identificar presiones mínimas, máximas, variaciones horarias, transitorios y sectores donde la operación depende de valores superiores a los necesarios. También deberá analizar si los tanques, bombeos, válvulas y conducciones permiten regular los niveles sin comprometer la continuidad.

El control podrá apoyarse en válvulas reguladoras, ajustes de bombeo, tanques, reorganización de sectores, automatización o modificaciones de la configuración hidráulica. La solución deberá responder a la causa y no consistir únicamente en instalar dispositivos. Una válvula reductora puede disminuir una presión excesiva, pero también convertirse en una restricción cuando no se dimensiona, mantiene u opera correctamente. De forma semejante, modificar la velocidad de una bomba puede reducir energía y presión, pero afectar zonas que dependen de ese equipo.

La gestión de presiones deberá sustentarse en modelos calibrados y mediciones de campo. La simulación será especialmente importante para analizar las consecuencias de una maniobra sobre sectores interconectados.

Detección activa y reparación de fugas

Una parte de las pérdidas reales puede permanecer oculta durante periodos prolongados. La gestión deberá combinar la atención de reportes visibles con programas de detección activa en los sectores donde los balances, consumos mínimos, presiones o antecedentes indiquen la probable existencia de fugas.

La selección de tecnologías deberá responder al material, diámetro, profundidad, ruido ambiental, configuración de la red y naturaleza de la fuga. No existe un método único que resulte igualmente eficaz en todas las condiciones.
La detección deberá vincularse con la reparación. Localizar una fuga sin disponer de capacidad para intervenir oportunamente reduce el beneficio y permite que el volumen continúe perdiéndose.

El tiempo total deberá analizarse mediante tres etapas:
detección → localización y autorización → reparación y restitución del servicio

Las demoras pueden originarse en falta de personal, materiales, permisos, información del catastro, coordinación vial o complejidad de la reparación. El indicador no deberá medir únicamente el número de fugas atendidas, sino su duración, volumen estimado y reincidencia.

También será necesario verificar la calidad de la reparación. Una intervención provisional puede restablecer el servicio de manera inmediata, pero requerir una solución posterior para evitar nuevas fallas o afectaciones estructurales.

Consumos mínimos y análisis nocturno

En sectores con medición y suministro continuo, los caudales durante periodos de bajo consumo pueden ayudar a identificar la presencia de pérdidas reales. Sin embargo, no todo caudal nocturno corresponde a fugas.

La evaluación deberá descontar los consumos legítimos de usuarios residenciales, comerciales, industriales, hospitales, servicios públicos y otras actividades que operan durante la noche. También deberá considerar cambios estacionales y diferencias entre días laborables y periodos festivos.

Los consumos mínimos deberán utilizarse como indicadores para orientar investigación, no como una medición directa y definitiva de las pérdidas. Su utilidad dependerá de la confiabilidad de los límites del sector, los medidores y la información de los usuarios.

En sectores con suministro intermitente, el análisis resulta más complejo porque el llenado de tuberías, tanques domiciliarios y sistemas internos puede generar caudales elevados que no corresponden al patrón ordinario de consumo.

Continuidad, intermitencia y eficiencia

La continuidad del servicio influye directamente en el comportamiento hidráulico y en la posibilidad de gestionar pérdidas. Los ciclos de presurización y despresurización pueden dificultar los balances, incrementar los transitorios y someter a tuberías y conexiones a variaciones repetidas. La evaluación no deberá considerar automáticamente que un menor número de horas de suministro representa eficiencia, aun cuando reduzca temporalmente el volumen introducido a la red. La eficiencia deberá medirse junto con la continuidad, la calidad, la presión y la equidad territorial.

Cuando existan sectores con operación intermitente, será necesario conocer sus causas: insuficiencia de producción, limitaciones de conducción, falta de almacenamiento, pérdidas, configuración de la red, bombeo, energía o decisiones operativas. La recuperación de continuidad podrá requerir reducir pérdidas, pero también fortalecer otras capacidades del sistema. No deberá asumirse que un programa de fugas resolverá por sí solo todas las restricciones del servicio.

Renovación de redes y gestión de activos

El control activo de fugas y la reparación permiten recuperar capacidad, pero pueden resultar insuficientes cuando determinados tramos presentan fallas repetitivas, deterioro estructural o una configuración incompatible con las exigencias actuales. La renovación deberá sustentarse en información sobre edad, material, diámetro, presión, suelo, historial de fugas, reparaciones, criticidad, usuarios afectados y consecuencias de falla.

La frecuencia de roturas no deberá utilizarse de manera aislada. Un tramo puede registrar pocas fallas y ser altamente crítico por abastecer una instalación estratégica; otro puede presentar múltiples reparaciones con consecuencias menores, pero acumular costos que justifiquen su sustitución. La gestión deberá comparar el costo y desempeño de continuar reparando con las alternativas de rehabilitación, sustitución, refuerzo o reconfiguración. La ISO 55000:2024

establece que las decisiones sobre activos deben considerar valor, riesgo, información, desempeño y ciclo de vida (ISO, 2024).

La reducción de pérdidas no debe presentarse como sustituto de la renovación de redes. Ambas capacidades son complementarias: la detección y reparación atienden fugas presentes, mientras que la gestión de activos busca reducir la recurrencia y las consecuencias futuras.

Pérdidas en tanques, conducciones y componentes principales

La evaluación no deberá limitarse a las redes de distribución. Los reboses, fugas estructurales o deficiencias de medición en tanques y conducciones principales también pueden representar volúmenes relevantes y afectar la confiabilidad del sistema. Los tanques deberán contar con medición de niveles, entradas, salidas y reboses. Las diferencias deberán analizarse considerando la geometría, el estado estructural, las maniobras y la precisión de los instrumentos. En conducciones principales, la localización puede ser compleja por los materiales, longitudes, presiones y condiciones de acceso. La evaluación deberá relacionar balances entre puntos de entrega, inspecciones, monitoreo de presión y registros de fallas.

Una pérdida en un componente principal puede permanecer oculta y producir consecuencias significativas por el volumen, la energía previamente utilizada y la posibilidad de afectar suelos, vialidades o infraestructura próxima.

Relación entre pérdidas, energía y emisiones

Cada volumen perdido antes de llegar al usuario puede haber requerido extracción, conducción, potabilización y bombeo. Por ello, la reducción de pérdidas reales puede disminuir también el consumo de energía y reactivos, siempre que se ajuste posteriormente la operación. El beneficio energético no será automático. Si el volumen recuperado se utiliza para ampliar el servicio o

aumentar la continuidad, el consumo total puede mantenerse aunque mejore el desempeño por unidad de agua entregada.

La evaluación deberá distinguir entre ahorro absoluto de energía, reducción del consumo específico y recuperación de capacidad para atender demanda. Los tres resultados pueden ser valiosos, pero no deberán presentarse como equivalentes. La relación entre pérdidas y energía refuerza la necesidad de analizar conjuntamente eficiencia hidráulica y eficiencia energética, evitando programas independientes que produzcan decisiones contradictorias.

Metas de eficiencia y nivel sostenible de pérdidas

La eliminación total de las pérdidas físicas no constituye una meta técnicamente alcanzable ni necesariamente eficiente. Toda red presenta un nivel residual asociado con pequeñas fugas, tiempos de detección, características de los materiales y condiciones operativas.

Las metas deberán definirse considerando la disponibilidad del recurso, el costo del agua producida, la energía, los daños evitados, la condición de la red y el costo de recuperar volúmenes adicionales.

El Banco Mundial señala que la preparación de estrategias de reducción requiere una línea base confiable y un análisis de costos y beneficios, porque el costo marginal de recuperar agua puede aumentar conforme disminuyen las pérdidas (Kingdom et al., 2006).

Esto no significa que la evaluación deba limitarse al beneficio financiero directo. En un sistema con restricciones de disponibilidad, la recuperación de un volumen puede aportar confiabilidad, reducir extracciones o diferir ampliaciones, aunque el ingreso tarifario inmediato sea limitado.

Las metas tampoco deberán fijarse mediante la comparación simple con porcentajes de otras ciudades. El desempeño depende de la presión, longitud de red, número de conexiones, continuidad, edad, topografía y costo del agua.

Los indicadores deberán complementarse con métricas normalizadas que permitan interpretar la magnitud y evolución de las pérdidas conforme a las características del sistema.

Estudios requeridos

La evaluación deberá consolidar un balance metropolitano y balances por subsistema, verificando la precisión de la macromedición, la micromedición y las bases de usuarios. También deberá revisar la configuración hidráulica de los sectores existentes, la condición de las válvulas, los límites reales, las entradas no medidas, las presiones y los patrones de consumo.

Los estudios deberán identificar zonas con diferencias persistentes, presiones excesivas, fugas recurrentes, subregistro, fallas de catastro o consumos no autorizados. A partir de esta evidencia podrán definirse programas territoriales de medición, control, reparación, renovación y reconfiguración.

La secuencia de maduración deberá ser:

auditoría del balance → validación de mediciones → localización territorial → análisis de causas → comparación de medidas → intervención → verificación del volumen recuperado

No deberá asignarse un beneficio a una medida sin contar con mediciones anteriores y posteriores bajo condiciones comparables.

Orientación hacia conceptos de actuación

La evaluación podrá orientar conceptos de fortalecimiento de macromedición y micromedición, consolidación de balances, rehabilitación de sectores, gestión de presiones, detección activa de fugas, reducción de tiempos de reparación, actualización de catastros y renovación progresiva de redes.

Estos conceptos deberán integrarse y no presentarse como programas aislados. La sectorización sin medición, la detección sin reparación, la reducción de presión sin modelación o la sustitución de tuberías sin criterios de criticidad pueden producir resultados limitados. La prioridad deberá establecerse en los sectores donde coincidan pérdidas demostradas, presiones inadecuadas, fallas recurrentes, alto consumo energético, afectaciones al servicio o elevada consecuencia de falla.

Las tecnologías específicas deberán seleccionarse después de conocer las condiciones de la red y la madurez operativa. El objetivo será recuperar y conservar capacidad, no incorporar equipamiento sin una función definida.

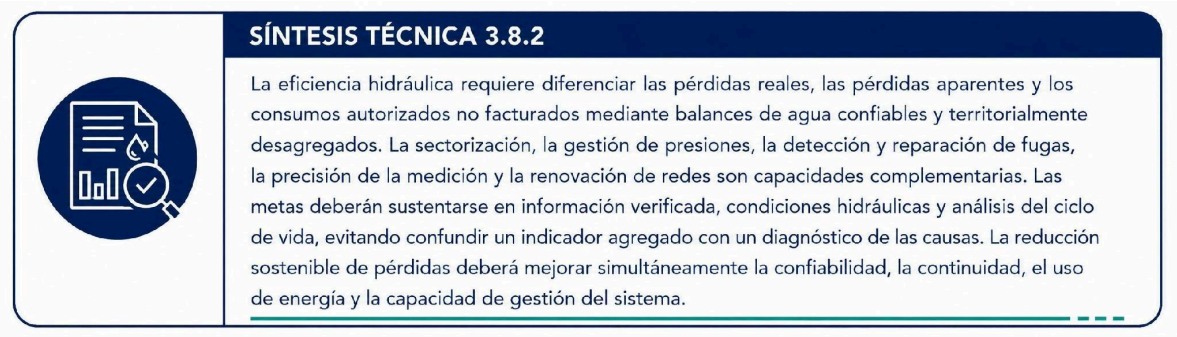
Implicación para la toma de decisiones

La eficiencia hidráulica deberá gestionarse mediante balances verificables y acciones territorialmente localizadas. No será técnicamente suficiente utilizar un único porcentaje metropolitano para definir inversiones.

Las decisiones deberán distinguir entre pérdidas reales, aparentes y consumos autorizados no facturados. Cada componente requerirá medidas, responsables e indicadores diferentes.

La sectorización, el control de presiones, la detección activa, la reparación y la renovación de redes deberán entenderse como capacidades complementarias. Ninguna de ellas, aplicada de forma aislada, garantiza una mejora sostenida. Las Bases Técnicas deberán reconocer que el fortalecimiento de la medición y el control de pérdidas puede recuperar agua, energía y capacidad operativa,

mejorar la continuidad y aportar información para programar la renovación de la red.



3.8.3 Eficiencia energética, automatización y gestión digital

La operación del sistema hídrico metropolitano requiere cantidades relevantes de energía para extraer, conducir, potabilizar, distribuir, recolectar y tratar el agua. El consumo energético depende de la configuración hidráulica, las elevaciones, los caudales, la condición de los equipos, los horarios de operación y la eficiencia de los procesos.

Por ello, la eficiencia energética no deberá evaluarse únicamente mediante el monto de la facturación eléctrica ni mediante la sustitución aislada de bombas o motores. Será necesario relacionar el consumo con el volumen movilizado o tratado, la carga hidráulica, la disponibilidad de los equipos y el nivel de servicio obtenido.

La automatización y la gestión digital pueden fortalecer esta capacidad al proporcionar información oportuna, apoyar maniobras, anticipar fallas y mejorar la coordinación entre instalaciones. Sin embargo, la incorporación de tecnología no constituye por sí misma una mejora. Su valor dependerá de la calidad de los datos, la claridad de los procesos y la capacidad institucional para operar, mantener y actualizar los sistemas.

Desempeño energético y configuración del sistema

La evaluación deberá identificar los principales usos de energía y distinguir entre consumos asociados a necesidades hidráulicas inevitables y aquellos que pueden reducirse mediante mejoras operativas, rehabilitación de equipos o ajustes en la configuración.

Un consumo elevado no representa automáticamente una ineficiencia. Una instalación puede requerir mayor energía por la elevación, distancia, calidad del agua o complejidad del tratamiento. La comparación deberá realizarse mediante indicadores normalizados y condiciones equivalentes.

La capacidad que debe fortalecerse consiste en establecer líneas base energéticas por instalación y proceso, vinculadas con caudales, niveles, presiones, horas de operación y condición de los equipos. Esta información permitirá reconocer desviaciones, evaluar intervenciones y orientar decisiones de mantenimiento o renovación conforme a un ciclo de mejora continua (ISO, 2018).

Las oportunidades podrán relacionarse con la rehabilitación de equipos, la operación en rangos adecuados, la reducción de pérdidas de carga, el aprovechamiento del almacenamiento, la coordinación de bombeos y la programación operativa. Su definición deberá derivarse del comportamiento real del sistema y no de medidas generales aplicadas de forma uniforme.

Automatización de procesos críticos

La automatización puede mejorar la precisión y oportunidad de determinadas maniobras, especialmente en estaciones de bombeo, plantas, tanques, válvulas y componentes cuya operación influye en otras partes del sistema.

No obstante, la automatización deberá priorizarse conforme a la criticidad y al beneficio operativo. No todos los procesos requieren el mismo nivel de control

remoto, y una operación manual puede continuar siendo adecuada cuando existen procedimientos, personal y condiciones de respuesta suficientes.

Antes de automatizar será necesario definir la función, las variables requeridas, los límites de operación y las acciones que deberá ejecutar el sistema. Automatizar un proceso que no se encuentra claramente establecido puede reproducir errores con mayor velocidad y generar una falsa percepción de control.

Los sistemas deberán conservar mecanismos de operación local, respaldo energético, comunicaciones alternativas y protocolos de actuación ante pérdida de señal o información incorrecta. La mayor dependencia tecnológica deberá acompañarse de mayor capacidad de mantenimiento, ciberseguridad y recuperación.

Integración digital y gobierno de los datos

La información operativa puede encontrarse distribuida entre sistemas de control, catastros, bases comerciales, registros de laboratorio, mantenimiento, energía y atención de incidencias. Cuando estos sistemas no se relacionan, resulta difícil reconstruir el comportamiento de los activos y evaluar las causas de una falla o restricción.

La capacidad que debe fortalecerse es la interoperabilidad entre las fuentes existentes. Esto no implica necesariamente sustituir todas las plataformas ni concentrar cada función en un único sistema. Requiere criterios comunes para identificar activos, validar datos, compartir información y conservar trazabilidad.
La transformación digital deberá comenzar por los procesos y decisiones que necesitan fortalecerse. Posteriormente podrán definirse los instrumentos, plataformas y mecanismos de integración adecuados. El Banco Mundial señala que la digitalización efectiva de los organismos de agua depende de la estrategia, la gobernanza de los datos, las capacidades del personal y la

integración con los procesos institucionales, además de la tecnología disponible (Banco Mundial, 2025).

La gestión digital deberá contemplar también el mantenimiento de sensores, comunicaciones, licencias, almacenamiento, respaldos, actualizaciones y seguridad. Una plataforma sin recursos para su sostenimiento puede perder confiabilidad y convertirse en una restricción adicional.

Vacíos de información y madurez institucional

Antes de definir nuevos sistemas deberá consolidarse un diagnóstico de madurez que identifique qué instalaciones cuentan con medición, automatización, control remoto e integración digital; cuáles operan con registros manuales; qué plataformas continúan siendo funcionales; y dónde existen brechas que afectan procesos críticos.

La heterogeneidad tecnológica no deberá interpretarse automáticamente como obsolescencia. Algunos sistemas podrán mantenerse o integrarse, mientras que otros requerirán actualización o sustitución. La decisión deberá considerar su desempeño, compatibilidad, seguridad y costo durante el ciclo de vida.

También será necesario conocer las capacidades humanas disponibles. La transformación digital requiere personal capaz de interpretar la información, operar los sistemas, detectar errores y mantener continuidad ante cambios administrativos o tecnológicos.

Implicación para la planeación

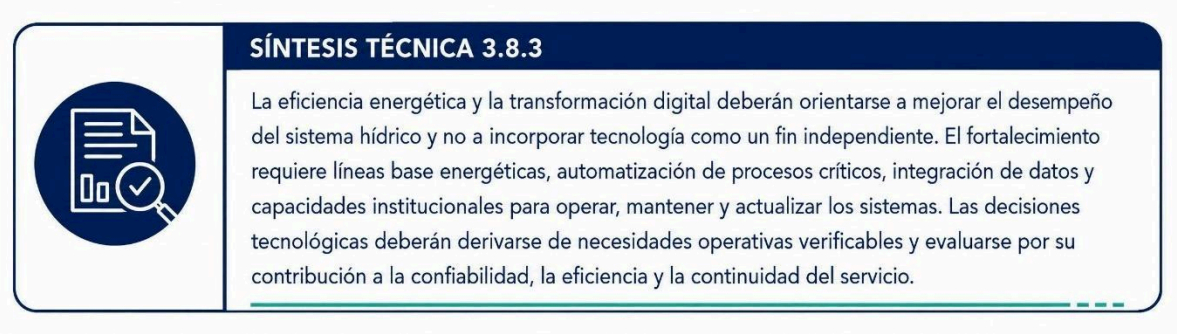
La eficiencia energética, la automatización y la gestión digital deberán desarrollarse como capacidades de soporte para mejorar la confiabilidad, reducir consumos evitables, anticipar fallas y coordinar la operación metropolitana.

Las alternativas posteriores deberán partir de líneas base verificables y de una evaluación de los procesos críticos. No deberá seleccionarse una plataforma, equipo o tecnología antes de definir el problema operativo que se pretende resolver.

La secuencia deberá conservar la siguiente lógica:

proceso definido → información confiable → control adecuado → decisión oportuna → evaluación del desempeño

El fortalecimiento deberá ser gradual y compatible con la capacidad institucional para operar y mantener los sistemas. La tecnología será pertinente cuando produzca una mejora demostrable en el servicio, la eficiencia o la gestión del riesgo.



3.8.4 Restricciones y capacidades que requieren fortalecimiento

La evaluación transversal muestra que la eficiencia del sistema hídrico metropolitano no depende únicamente de reducir pérdidas, consumo energético o tiempos de operación. Requiere contar con información confiable para conocer el desempeño real de la infraestructura, relacionar la operación con el mantenimiento y utilizar los datos para anticipar fallas, recuperar capacidad y mejorar la continuidad del servicio.

Las principales restricciones se encuentran interrelacionadas. La medición incompleta o fragmentada dificulta construir balances; la ausencia de balances

limita la localización de pérdidas y consumos ineficientes; y la falta de integración entre datos operativos, mantenimiento y condición de los activos reduce la capacidad para determinar si una restricción debe atenderse mediante cambios operativos, rehabilitación, renovación o infraestructura adicional.

Por ello, el fortalecimiento no deberá organizarse como una suma de programas tecnológicos independientes. Deberá orientarse hacia una gestión del desempeño que articule agua, energía, infraestructura, información y capacidades institucionales.

Medición y balances insuficientemente integrados

Una primera restricción corresponde a la heterogeneidad de las mediciones disponibles. Pueden coexistir instrumentos automáticos, registros manuales, estimaciones y bases de datos construidas bajo periodos o criterios distintos. Esta condición no significa necesariamente que la información sea inexistente, pero limita su integración y trazabilidad.

La capacidad por fortalecer consiste en consolidar una arquitectura de medición que permita reconstruir los principales flujos de agua y energía desde las fuentes hasta la distribución, recolección y tratamiento.

Los balances deberán diferenciar claramente entre datos medidos y estimados, registrar su incertidumbre y mantener periodos de análisis comparables. Su función será establecer una línea base, identificar desviaciones y comprobar los resultados de las medidas implementadas.

No será técnicamente adecuado establecer volúmenes precisos de recuperación, metas definitivas de eficiencia o beneficios energéticos mientras la información no permita construir balances suficientemente confiables.

Pérdidas y desempeño hidráulico territorialmente diferenciados

Los indicadores generales de eficiencia pueden ocultar diferencias relevantes entre sectores, materiales, presiones y condiciones de operación. La gestión deberá distinguir entre pérdidas reales, pérdidas aparentes y consumos autorizados no facturados, ya que cada componente requiere medidas diferentes (ISO, 2021).

La capacidad que debe fortalecerse comprende la macromedición y micromedición, la validación de sectores hidráulicos, la gestión de presiones, la detección y reparación de fugas y la renovación progresiva de las redes.

Estas capacidades deberán actuar de forma complementaria. La sectorización no reducirá por sí misma las pérdidas si no existen mediciones y decisiones asociadas; la detección tendrá efectos limitados sin capacidad de reparación; y la renovación no deberá programarse únicamente por antigüedad, sino conforme a condición, fallas, criticidad y costo del ciclo de vida.

La eficiencia hidráulica deberá contribuir también a mejorar la continuidad, la presión y la equidad territorial. Una reducción aparente del volumen suministrado no representará una mejora cuando se obtenga mediante disminución del servicio o restricciones operativas.

Consumo energético desvinculado del desempeño hidráulico

Una segunda restricción consiste en evaluar la energía principalmente mediante la facturación o el consumo total, sin relacionarla suficientemente con los caudales, cargas hidráulicas, horas de operación, procesos y niveles de servicio.

La capacidad que debe fortalecerse es la construcción de líneas base energéticas por instalación y proceso. Estas líneas permitirán diferenciar los

consumos asociados a necesidades físicas del sistema de aquellos que pueden reducirse mediante rehabilitación, ajustes operativos, coordinación de bombeos o mejoras en la configuración hidráulica.

La gestión energética deberá seguir un proceso de mejora continua basado en medición, evaluación e identificación de los usos significativos, conforme al enfoque de la ISO 50001:2018 (ISO, 2018).

Las decisiones no deberán concentrarse exclusivamente en sustituir bombas o motores. En algunos casos, el mayor beneficio podrá derivarse de reducir pérdidas de carga, mejorar la disponibilidad de los tanques, evitar bombeos simultáneos innecesarios o modificar los horarios y rangos de operación.

La reducción de pérdidas de agua también puede generar beneficios energéticos, pero estos deberán comprobarse mediante mediciones anteriores y posteriores. El volumen recuperado puede utilizarse para reducir consumos, mejorar la continuidad o atender demanda; los tres resultados son distintos y deberán comunicarse como tales.

Información operativa y mantenimiento fragmentados

Los datos de caudales, presiones, energía, fallas, mantenimiento y condición de activos pueden encontrarse en sistemas o áreas diferentes. Esta fragmentación dificulta reconstruir las causas de una pérdida de desempeño y valorar el resultado de las intervenciones.

La capacidad por fortalecer consiste en vincular la información operativa con los catastros, órdenes de trabajo, inspecciones, reparaciones y decisiones de renovación. Esta relación permitirá identificar activos con fallas recurrentes, incrementos anormales de consumo, indisponibilidad prolongada o mantenimiento correctivo reiterado. La gestión de activos deberá avanzar hacia

una visión de ciclo de vida, en la que las decisiones consideren desempeño, riesgo, valor, información y consecuencias de falla (ISO, 2024).

Esto no implica que todos los componentes deban contar con sensores avanzados o mantenimiento predictivo. El nivel de información y seguimiento deberá corresponder con la criticidad del activo y con las decisiones que se pretende apoyar.

Automatización y sistemas digitales sin integración completa

La existencia de plataformas, sistemas de control o bases digitales no garantiza por sí misma una gestión integrada. Pueden coexistir tecnologías de diferentes generaciones, instalaciones con automatización avanzada y procesos que todavía dependen de registros manuales.

La restricción principal no es únicamente tecnológica. Se relaciona con la interoperabilidad, la calidad de los datos, la definición de procesos, la continuidad de los sistemas y la disponibilidad de personal para interpretar y utilizar la información. La capacidad que debe fortalecerse es una hoja de ruta de transformación digital construida a partir de necesidades operativas y niveles de madurez institucional. El Banco Mundial destaca que la digitalización de los organismos de agua requiere integrar tecnología, estrategia, gobernanza de datos, procesos y capacidades humanas (Banco Mundial, 2025).

Esta hoja de ruta deberá priorizar los procesos críticos y evitar la sustitución general de plataformas sin evaluar su funcionamiento, compatibilidad y costo del ciclo de vida. La automatización deberá mantener mecanismos de operación local, respaldo energético y comunicaciones alternativas. También deberá incorporar protección de la información, control de accesos, respaldo de registros y recuperación ante fallas.

Capacidades institucionales y continuidad del conocimiento

La eficiencia y la digitalización dependen de la capacidad de las personas para operar, mantener, interpretar y actualizar los sistemas. La falta de perfiles especializados, capacitación continua o procedimientos documentados puede reducir el valor de la infraestructura tecnológica. La capacidad que debe fortalecerse comprende formación técnica, documentación de procesos, transferencia de conocimiento, continuidad de equipos especializados y mecanismos para conservar la experiencia operativa.

Los sistemas deberán diseñarse considerando la capacidad real para mantenerlos. La dependencia de proveedores, licencias, componentes propietarios o personal externo deberá evaluarse como parte del riesgo operativo y del costo durante el ciclo de vida. La modernización no deberá producir una estructura tecnológica cuya sostenibilidad dependa exclusivamente de la inversión inicial. Deberá incluir calibración, mantenimiento, actualización, seguridad, comunicaciones y formación del personal.

Integración de las capacidades

Las capacidades identificadas deberán organizarse mediante una secuencia común:

medición confiable → balances y diagnóstico → decisión operativa → mantenimiento o intervención → verificación del desempeño

Esta secuencia permitirá diferenciar cuándo una restricción requiere cambios de operación, recuperación de capacidad, renovación de activos, automatización o desarrollo de infraestructura adicional. En términos estratégicos, el fortalecimiento deberá integrar:

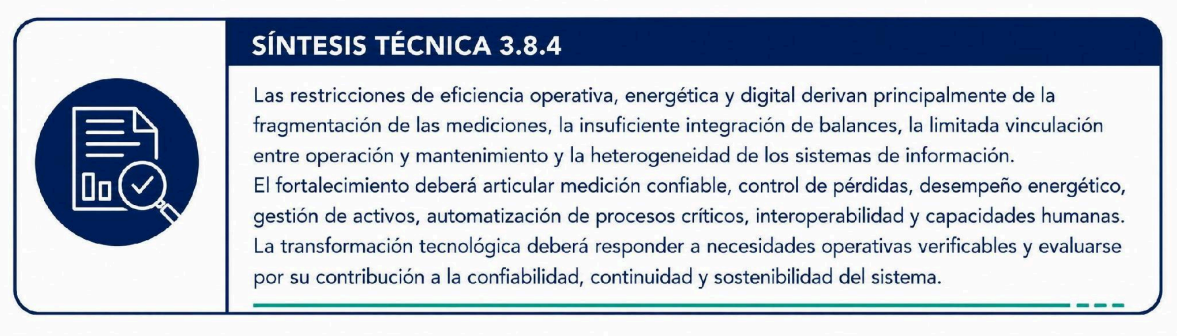
eficiencia hidráulica + eficiencia energética + gestión de activos + información interoperable + capacidades humanas

Ninguno de estos componentes producirá resultados sostenibles de manera aislada. La medición sin análisis genera datos subutilizados; la automatización sin mantenimiento pierde confiabilidad; y la renovación sin información puede orientar recursos hacia activos que no representan la mayor restricción o criticidad.

Implicación para la planeación

Las decisiones posteriores deberán partir de líneas base verificables y no de estimaciones generales sobre pérdidas, consumos o beneficios tecnológicos. Las alternativas tendrán que demostrar qué proceso pretenden mejorar, qué información sustenta la intervención, qué indicador permitirá comprobar el resultado y qué recursos serán necesarios para sostenerla.

El fortalecimiento deberá realizarse de manera gradual, priorizando los procesos y activos cuya pérdida de desempeño tenga mayores consecuencias sobre la continuidad, la calidad, la energía, los costos o la seguridad del sistema. La transformación digital y energética deberá mantenerse abierta a diferentes soluciones tecnológicas. Las Bases Técnicas deberán definir las funciones y capacidades requeridas, pero no predeterminar plataformas, proveedores ni equipamientos específicos.



3.9 Capacidades institucionales, investigación y gestión del conocimiento

La sostenibilidad del sistema hídrico metropolitano no depende únicamente de la infraestructura disponible. Requiere instituciones capaces de planear, operar,

conservar, evaluar y actualizar las decisiones conforme cambian el territorio, las fuentes, la demanda, el clima y las condiciones de los activos.

Las restricciones identificadas en los apartados anteriores —información fragmentada, mantenimiento reactivo, limitada integración entre subsistemas, diferencias en la madurez de los estudios y dificultades de coordinación territorial— tienen una dimensión institucional común. Aun cuando existan recursos técnicos y proyectos, su efectividad puede disminuir cuando las responsabilidades no se encuentran claramente articuladas, el conocimiento se dispersa entre dependencias o las decisiones pierden continuidad entre periodos administrativos.

Los Principios de Gobernanza del Agua de la OCDE señalan que una gestión efectiva requiere claridad de funciones, coordinación entre escalas, capacidades adecuadas, datos consistentes, integridad, participación y mecanismos de evaluación (OCDE, 2015). Bajo esta perspectiva, el fortalecimiento institucional deberá entenderse como una capacidad estructural del sistema y no como un componente administrativo separado de la infraestructura.

Coordinación y definición de responsabilidades

La gestión del agua metropolitana involucra competencias relacionadas con abastecimiento, saneamiento, drenaje pluvial, planeación urbana, protección civil, medio ambiente, salud, movilidad y desarrollo territorial. Estas funciones corresponden a distintos órdenes de gobierno, organismos operadores y entidades técnicas. La diversidad institucional no constituye por sí misma una deficiencia. La restricción aparece cuando las decisiones se adoptan sin información compartida, criterios compatibles o mecanismos para resolver las interdependencias entre sistemas y territorios.

La capacidad que debe fortalecerse es una coordinación basada en funciones claramente definidas, intercambio de información, seguimiento de acuerdos y

responsabilidades verificables. Esta coordinación deberá operar de manera permanente y no depender únicamente de reuniones convocadas ante emergencias o proyectos específicos.

La planeación por cuencas, la gestión de activos, la evaluación de nuevas fuentes, la renovación de redes y el desarrollo de infraestructura pluvial requieren horizontes que trascienden los límites administrativos y temporales de una sola institución. Por ello, será necesario establecer mecanismos que mantengan la trazabilidad entre diagnóstico, estudios, decisiones, programación, ejecución y evaluación.

Esta capacidad no exige necesariamente crear una nueva estructura para cada función. Antes deberá revisarse qué atribuciones, comités, sistemas de información y espacios de coordinación ya existen, cuáles pueden fortalecerse y qué vacíos requieren un mecanismo adicional.

Capacidades técnicas y continuidad institucional

La complejidad del sistema exige perfiles especializados en hidráulica, hidrología, tratamiento, calidad del agua, hidrogeología, energía, control, gestión de activos, información geográfica, economía, planeación, derecho y gestión social. La capacidad institucional no deberá medirse únicamente por el número de plazas o consultorías contratadas. Deberá considerar la experiencia acumulada, la distribución de responsabilidades, la posibilidad de formar equipos multidisciplinarios y la continuidad del conocimiento técnico.

La rotación del personal, la dependencia excesiva de especialistas externos o la falta de documentación pueden provocar que estudios, modelos y criterios se pierdan o deban reconstruirse. La contratación de apoyo externo puede ser necesaria, pero deberá acompañarse de transferencia de conocimiento, acceso a archivos, modelos editables, bases de datos y metodologías utilizadas.

El fortalecimiento deberá comprender programas de formación, actualización profesional, documentación de procesos y esquemas que permitan conservar equipos técnicos especializados. También deberá establecerse una relación clara entre las capacidades requeridas y las funciones estratégicas del sistema.

No todas las instituciones necesitan replicar las mismas especialidades. Algunas capacidades pueden compartirse mediante colaboración interinstitucional, convenios con universidades, colegios profesionales, centros de investigación y organismos especializados. Lo importante será garantizar su disponibilidad, continuidad y vinculación con la toma de decisiones.

Investigación aplicada y generación de evidencia

La evolución de los retos metropolitanos requiere una agenda permanente de investigación aplicada. Las decisiones no pueden depender exclusivamente de estudios elaborados para atender una obra o una coyuntura determinada. La investigación deberá contribuir a comprender problemas que todavía presentan incertidumbres, como el comportamiento de las fuentes, la condición de las redes, la evolución de la calidad del agua, el envejecimiento de los activos, las interacciones sanitario-pluviales, la eficiencia de los procesos, la transformación de las cuencas y los efectos del cambio climático.

Esta agenda deberá construirse a partir de las necesidades del sistema y no únicamente de la disponibilidad de tecnologías o líneas académicas. La secuencia deberá mantener la relación:

problema operativo o estratégico → pregunta de investigación → generación de evidencia → evaluación → incorporación a la planeación

La colaboración con universidades y centros especializados permitirá ampliar capacidades analíticas, validar metodologías y formar recursos humanos. Sin embargo, los resultados deberán traducirse en información utilizable por las

instituciones responsables de la planeación y operación.

Las pruebas piloto y proyectos demostrativos podrán utilizarse para evaluar tecnologías, procesos o modelos de gestión antes de su ampliación. Su valoración deberá considerar desempeño, mantenimiento, costos, riesgos, posibilidad de escalamiento y compatibilidad con las condiciones metropolitanas.

Capacidad especializada para el conocimiento del agua

La fragmentación de estudios, bases de datos y capacidades analíticas orienta la necesidad de fortalecer una función especializada y permanente de investigación, integración de información y evaluación técnica del agua en Jalisco. Esta función podría organizarse mediante una unidad, red, centro o instituto especializado. Las Bases Técnicas no deberán predeterminar su figura jurídica o administrativa, pero sí establecer las capacidades que debería cumplir:

integrar información → desarrollar investigación aplicada → conservar memoria técnica → evaluar tecnologías → apoyar la planeación → formar especialistas → comunicar evidencia

Su finalidad no sería sustituir las competencias de las autoridades, organismos operadores, universidades o centros de investigación. Debería articularlas y proporcionar continuidad técnica para problemas que requieren observación y análisis durante periodos prolongados.

La definición de este mecanismo deberá evaluar las instituciones existentes, evitar duplicidades, establecer fuentes de financiamiento sostenibles y garantizar independencia técnica suficiente para producir análisis verificables.

Gestión del conocimiento y memoria técnica

El sistema hídrico genera diariamente información mediante estudios, proyectos, registros de operación, laboratorios, inspecciones, modelos, reportes de fallas y evaluaciones. Cuando estos productos no se organizan y conservan adecuadamente, el conocimiento permanece disperso y pierde utilidad para decisiones posteriores.

La gestión del conocimiento deberá asegurar que la información relevante pueda localizarse, comprenderse, actualizarse y reutilizarse. La ISO 30401:2018 establece que la gestión del conocimiento requiere procesos para generar, compartir, conservar y aplicar conocimiento conforme a los objetivos de la organización (ISO, 2018).

La capacidad que debe fortalecerse comprende repositorios institucionales, criterios de clasificación, metadatos, control de versiones, resguardo de modelos y documentación de las decisiones. También deberá registrarse qué información se utilizó, qué supuestos se adoptaron y por qué se seleccionó o descartó una alternativa.

Esta trazabilidad permitirá evitar la repetición innecesaria de estudios y distinguir entre documentos vigentes, antecedentes históricos, proyectos que requieren actualización y alternativas que fueron descartadas por razones técnicas o territoriales.

La memoria técnica también deberá incorporar el conocimiento operativo no siempre contenido en informes. Los procedimientos, experiencias de campo, fallas recurrentes y respuestas exitosas deberán documentarse para reducir la dependencia de personas específicas.

Información pública, participación y construcción de confianza

La información técnica deberá transformarse en contenidos comprensibles para autoridades, usuarios y actores sociales, sin perder rigor ni simplificar en exceso

las incertidumbres. La participación será más útil cuando se sustente en información clara sobre las condiciones del sistema, las restricciones, los costos, los riesgos y los alcances reales de las alternativas. No deberá limitarse a comunicar decisiones terminadas ni utilizarse para sustituir la responsabilidad técnica de las instituciones.

La capacidad que debe fortalecerse consiste en generar mecanismos de transparencia, consulta y retroalimentaciones proporcionales a la naturaleza de cada decisión. Los procesos de planeación de largo plazo deberán incorporar a instituciones públicas, academia, organismos operadores, colegios, asociaciones, sectores productivos y sociedad civil organizada. La apertura de información deberá proteger los datos personales, la seguridad de la infraestructura crítica y los procesos que legalmente requieran reserva. Esta protección no deberá utilizarse para impedir el acceso a indicadores, diagnósticos y criterios de decisión de interés público.

Evaluación, aprendizaje y actualización

Las capacidades institucionales deberán incorporar mecanismos para evaluar si las políticas, programas y medidas producen los resultados esperados. La planeación no concluye cuando se aprueba una intervención; requiere seguimiento, medición y aprendizaje.

La evaluación deberá distinguir entre el cumplimiento de actividades y la mejora del desempeño. Elaborar estudios, instalar equipos o ejecutar obras no demuestra por sí mismo que aumentó la confiabilidad, disminuyó el riesgo o mejoró la eficiencia.

Los resultados deberán compararse con líneas base e indicadores previamente definidos. Cuando una medida no alcance el desempeño previsto, será necesario identificar si la causa se relaciona con el diseño, la operación, el mantenimiento, cambios territoriales o supuestos incorrectos. Este aprendizaje

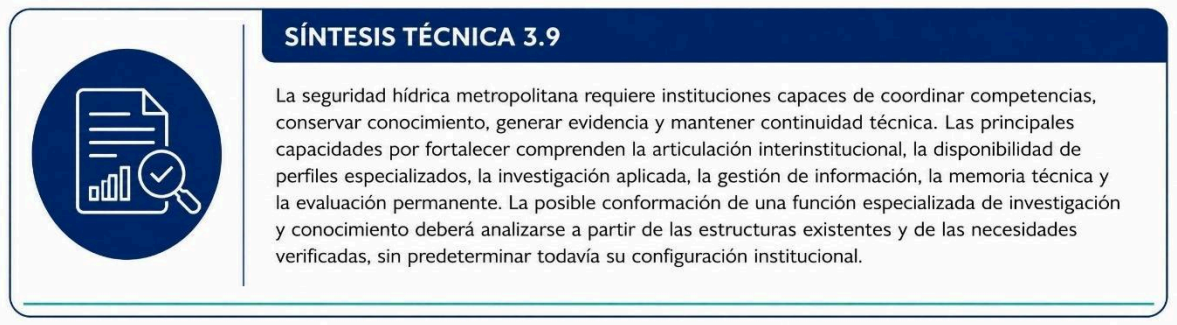
deberá alimentar las actualizaciones del diagnóstico y la planeación, evitando que los instrumentos permanezcan estáticos frente a nuevas condiciones.

Implicación para la planeación

El fortalecimiento institucional deberá acompañar todas las decisiones sobre infraestructura, operación y gestión territorial. Una alternativa técnicamente viable puede perder efectividad si no existen capacidades para operarla, mantenerla, monitorearla y actualizarla.

Las decisiones posteriores deberán identificar, además de la infraestructura necesaria, las responsabilidades, perfiles, información, coordinación y recursos permanentes requeridos durante su ciclo de vida.

Los conceptos de coordinación metropolitana, investigación aplicada, gestión del conocimiento y formación especializada deberán considerarse capacidades transversales. Su desarrollo no deberá depender exclusivamente de proyectos físicos ni limitarse a acciones administrativas aisladas. La continuidad técnica deberá garantizarse mediante mecanismos institucionales, documentación y sistemas de seguimiento que trasciendan los periodos de gobierno, sin impedir la revisión de las decisiones cuando aparezca nueva evidencia.



3.10 Integración del diagnóstico

La evaluación desarrollada en este capítulo muestra que las restricciones del sistema hídrico metropolitano no corresponden a problemas aislados ni pueden

explicarse únicamente por la falta de una obra determinada. Se originan en la interacción entre fuentes de abastecimiento, conducción, producción potable, almacenamiento, redes, saneamiento, infraestructura pluvial, eficiencia operativa, información y capacidades institucionales.

Esta lectura permite evitar dos interpretaciones incompletas. La primera sería atribuir las restricciones exclusivamente al envejecimiento de la infraestructura. La segunda consistiría en suponer que toda necesidad puede resolverse mediante nueva capacidad física. En algunos componentes será prioritario conservar, rehabilitar o renovar activos; en otros será necesario estudiar infraestructura adicional; y en varios casos la principal brecha se relacionará con la operación, la información, la coordinación o la gestión territorial.

El diagnóstico deberá entenderse como una base para formular y comparar alternativas, no como una selección anticipada de proyectos. Su función consiste en establecer qué condición se encuentra documentada, qué restricción produce, qué capacidad requiere fortalecimiento y qué información adicional deberá obtenerse antes de adoptar decisiones.

Lectura sistémica de las restricciones

Las restricciones identificadas mantienen relaciones de dependencia. La confiabilidad de una fuente no garantiza por sí misma la continuidad del servicio cuando la conducción, la producción, el almacenamiento o la distribución presentan limitaciones. De manera semejante, una planta de tratamiento puede disponer de capacidad nominal y no alcanzar un saneamiento efectivo cuando las aguas residuales no son recolectadas o conducidas adecuadamente.

En materia pluvial, la construcción de una obra localizada puede reducir una afectación y trasladar el riesgo hacia otra zona cuando no se analiza la cuenca completa. En eficiencia, la incorporación de sensores o sistemas digitales puede

producir pocos beneficios si la medición no es confiable o si los datos no se relacionan con la operación y el mantenimiento.

Estas interdependencias muestran que la seguridad hídrica no depende únicamente de la suma de capacidades instaladas. Requiere que los componentes funcionen de manera articulada, con información suficiente y mecanismos institucionales capaces de conservar el desempeño a lo largo del tiempo.

La relación general puede expresarse de la siguiente manera:

fuentes disponibles → conducción confiable → producción suficiente y adaptable → almacenamiento y distribución funcionales → recolección y tratamiento efectivos → gestión pluvial y territorial → operación eficiente → coordinación y conocimiento permanente

Una restricción en cualquiera de estos componentes puede reducir el desempeño de los demás.

Condiciones transversales

A lo largo del diagnóstico se identificaron cuatro condiciones que atraviesan la mayor parte de los subsistemas.

La primera corresponde a la necesidad de fortalecer la gestión del ciclo de vida de los activos. La antigüedad, por sí sola, no determina la sustitución de una infraestructura; sin embargo, la coexistencia de componentes construidos en diferentes periodos exige catastros, inspecciones, evaluación de condición, criticidad y programación de mantenimiento, rehabilitación y renovación.

La segunda se relaciona con la insuficiente integración de información. En distintos componentes existen datos, estudios, inventarios y registros, pero no siempre comparten periodos, metodologías o niveles de validación. Esta

fragmentación limita la construcción de balances y la comparación de alternativas.

La tercera corresponde a la necesidad de estudiar y desarrollar nueva capacidad donde el crecimiento urbano, la transformación territorial o la evolución de las demandas hayan generado déficits estructurales. Esta necesidad es especialmente relevante en infraestructura pluvial, almacenamiento, conducción, producción, tratamiento y redes, pero deberá demostrarse mediante estudios actualizados.

La cuarta condición se refiere a la coordinación institucional y la continuidad técnica. Las decisiones requieren horizontes que superan los periodos administrativos y los límites municipales, por lo que deberán acompañarse de mecanismos de seguimiento, conservación de información, investigación y evaluación.

Cuadro 3. Integración del diagnóstico del sistema hídrico metropolitano

Componente	Condición documentada	Restricción principal	Capacidad por fortalecer	Información pendiente
1. Fuentes y configuración del abastecimiento	Dependencia de un conjunto limitado de fuentes y sistemas principales, con diferencias en disponibilidad, calidad, confiabilidad y función territorial.	Vulnerabilidad ante fallas, variabilidad hidrológica, problemas de calidad o reducción temporal de una fuente.	Diversificación funcional, protección de fuentes, flexibilidad operativa y planeación de largo plazo.	Balances actualizados de disponibilidad, calidad, demanda, riesgos y capacidad efectiva por fuente.
2. Conducciones principales	La continuidad del abastecimiento depende de infraestructura de gran longitud, relevancia estratégica y diferentes periodos de construcción.	Pérdida de confiabilidad por condición, mantenimiento, capacidad limitada o insuficiente redundancia.	Gestión de activos, rehabilitación, renovación, monitoreo y evaluación de capacidad complementaria o sustitutiva.	Diagnóstico estructural e hidráulico homogéneo, historial de fallas, criticidad y alternativas de operación.
3. Producción y potabilización	Las plantas presentan escalas, tecnologías, edades y condiciones de operación distintas.	Diferencias entre capacidad nominal, disponible y efectiva; adaptación limitada ante cambios en calidad o demanda.	Modernización, confiabilidad, redundancia interna, adaptación tecnológica y equilibrio territorial de la producción.	Balances de capacidad, condición de procesos, energía, calidad del agua de entrada y desempeño por instalación.
4. Regulación, almacenamiento y distribución	Las tanques y redes cumplen funciones de regulación y entrega, pero su configuración y condición son heterogéneas.	Flexibilidad limitada, presiones inadecuadas, pérdidas, baja capacidad de regulación y fallas recurrentes en determinados sectores.	Renovación de redes, recuperación de almacenamiento, sectorización, control de presiones y gestión de activos.	Catastro consolidado, volúmenes efectivos, balances por sector, condición, antigüedad, fallas y criticidad.
5. Abastecimiento complementario	Existen fuentes y esquemas complementarios con funciones territoriales y operativas específicas.	Integración insuficiente con el sistema general o incertidumbre sobre su capacidad sostenible y calidad.	Evaluación integral, protección, monitoreo y articulación operativa.	Disponibilidad sostenible, calidad, costos, energía, condición y función estratégica de cada componente.
6. Alcantarillado y saneamiento	Coexisten redes de diferentes edades, conducciones, cárcamos y plantas con capacidades y condiciones diversas.	Diferencias entre generación, recolección, conducción y tratamiento; infiltraciones, aportaciones pluviales y concentración territorial de capacidad.	Renovación de redes, fortalecimiento de colectores, confiabilidad del tratamiento, control de descargas y aprovechamiento seguro del agua tratada.	Balance metropolitano homogéneo, condición de redes y colectores, caudales efectivos, desempeño de plantas y demanda de reúso.
7. Gestión pluvial y riesgo de inundación	El crecimiento urbano ha transformado las cuencas y existen restricciones asociadas con condición, mantenimiento y falta de infraestructura suficiente.	Atención fragmentada de puntos de inundación, pérdida de capacidad, déficit estructural y limitada preparación ante condiciones futuras.	Planeación por cuencas, conservación y renovación, nueva infraestructura, regulación, infiltración, monitoreo y adaptación climática.	Modelos actualizados y calibrados, inventario de infraestructura, escenarios urbanos y climáticos, efectos aguas abajo y riesgos territoriales.
8. Eficiencia operativa, energética y digital	Las mediciones, balances, sistemas de control y bases de datos presentan diferentes niveles de desarrollo e integración.	Dificultad para conocer pérdidas, consumos, disponibilidad real y relación entre operación, mantenimiento y desempeño.	Medición confiable, balances, control de pérdidas, gestión energética, automatización de procesos críticos e interoperabilidad.	Auditoría de medición, madurez digital, líneas base energéticas, condición de sistemas y capacidades del personal.
9. Capacidades institucionales y conocimiento	La información, los estudios y las responsabilidades se distribuyen entre múltiples instituciones y periodos administrativos.	Fragmentación de decisiones, pérdida de memoria técnica y limitada continuidad de la planeación.	Coordinación metropolitana, investigación aplicada, formación especializada, gestión del conocimiento y evaluación.	Mapa de competencias, capacidades existentes, repositorios, mecanismos de coordinación y necesidades de investigación.

Nota: Las capacidades señaladas representan funciones que requieren fortalecimiento. No constituyen proyectos seleccionados ni determinan anticipadamente una solución tecnológica, institucional o constructiva.

Fuente: Elaboración propia con base en la evaluación técnica desarrollada en el Capítulo III.

Vacíos de información prioritarios

La integración del diagnóstico muestra que uno de los principales resultados no es únicamente la identificación de restricciones, sino el reconocimiento de la información que todavía debe consolidarse para reducir la incertidumbre.

Entre los vacíos más relevantes se encuentran la ausencia de inventarios homogéneos sobre condición y antigüedad de determinados activos; la falta de balances comparables entre capacidad nominal, disponible y utilizada; la fragmentación de registros de operación, mantenimiento y fallas; y la limitada integración territorial de los estudios de cuencas, redes y servicios.

Estos vacíos no impiden reconocer que existen necesidades de fortalecimiento. Sí limitan la posibilidad de establecer con precisión magnitudes, localizaciones, secuencias y costos.

Por ello, la etapa siguiente deberá diferenciar entre: decisiones que pueden sustentarse con información disponible y decisiones que requieren estudios adicionales antes de alcanzar un nivel suficiente de madurez Esta diferenciación permitirá evitar que la ausencia de información paralice la planeación, pero también impedirá presentar como definidas alternativas cuya viabilidad todavía no ha sido demostrada.

Capacidades estructurales que deberá fortalecer la planeación

La integración del diagnóstico permite agrupar las necesidades en seis capacidades estructurales:

1. **Confiabilidad:** mantener el funcionamiento de fuentes, conducciones, plantas, redes y sistemas de tratamiento ante fallas, mantenimiento y variaciones de operación.
2. **Flexibilidad e integración:** transferir, regular y coordinar caudales entre componentes y territorios sin depender de una única configuración.

3. **Gestión de activos:** conocer la condición, criticidad y desempeño de la infraestructura y programar su conservación, rehabilitación, renovación o sustitución.
4. **Adaptación y resiliencia:** preparar el sistema ante crecimiento urbano, variabilidad hidrológica, cambios en calidad, eventos extremos y cambio climático.
5. **Eficiencia e información:** medir, balancear, operar y evaluar el sistema mediante datos confiables y procesos interoperables.
6. **Gobernanza y conocimiento:** coordinar competencias, conservar memoria técnica, generar investigación y mantener continuidad en las decisiones.

Estas capacidades no corresponden exclusivamente a un subsistema. Su fortalecimiento deberá orientar la evaluación de alternativas en los capítulos siguientes.

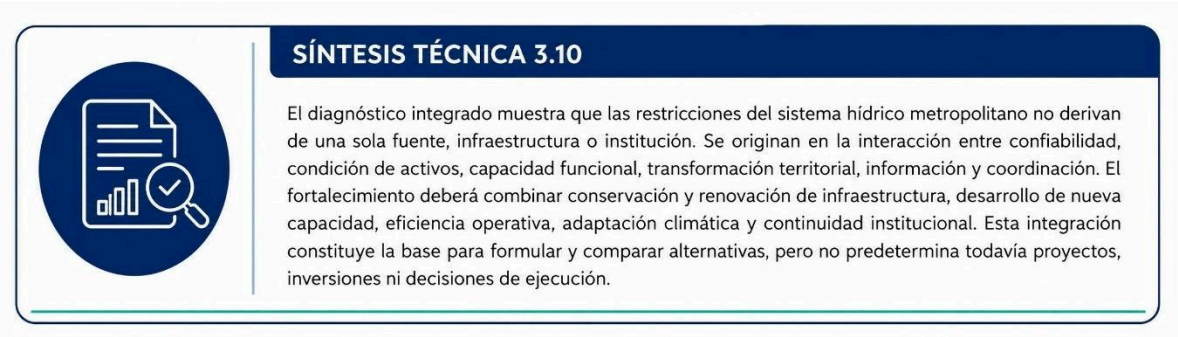
Implicación para la formulación de alternativas

El diagnóstico no conduce automáticamente a una cartera de obras. Establece una relación entre restricciones y capacidades que permite formular diferentes tipos de respuesta. Una restricción podrá atenderse mediante operación y mantenimiento, rehabilitación, renovación, nueva infraestructura, regulación territorial, fortalecimiento institucional o una combinación de medidas.

La alternativa adecuada dependerá de la causa, la magnitud, la ubicación, las interdependencias, los riesgos y el costo del ciclo de vida. Los estudios y proyectos existentes deberán incorporarse como antecedentes y expresiones de madurez técnica. Su existencia podrá reducir los tiempos de análisis o aportar información relevante, pero no sustituirá la comparación con otras opciones ni determinará automáticamente su programación.

La siguiente etapa deberá conservar la trazabilidad:

condición documentada → restricción → capacidad requerida → alternativas → evaluación comparada → decisión posterior

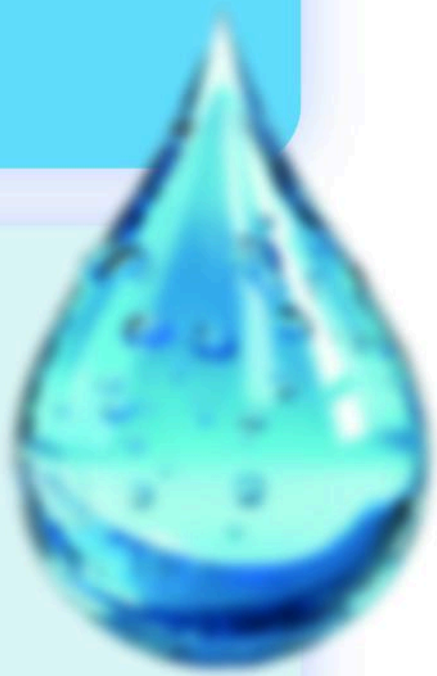


SÍNTESIS TÉCNICA 3.10

El diagnóstico integrado muestra que las restricciones del sistema hídrico metropolitano no derivan de una sola fuente, infraestructura o institución. Se originan en la interacción entre confiabilidad, condición de activos, capacidad funcional, transformación territorial, información y coordinación. El fortalecimiento deberá combinar conservación y renovación de infraestructura, desarrollo de nueva capacidad, eficiencia operativa, adaptación climática y continuidad institucional. Esta integración constituye la base para formular y comparar alternativas, pero no predetermina todavía proyectos, inversiones ni decisiones de ejecución.

BASES TÉCNICAS

PARA LA PRIORIZACIÓN
DE LAS INTERVENCIONES ESTRATÉGICAS
PARA LA SEGURIDAD HÍDRICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJAR



CAPÍTULO IV

RESTRICCIONES ESTRUCTURALES Y CAPACIDADES POR FORTALECER

JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

CAPÍTULO IV

RESTRICCIONES ESTRUCTURALES Y CAPACIDADES POR FORTALECER

4.1 Propósito y alcance

El diagnóstico del Capítulo III permitió documentar las condiciones del sistema hídrico metropolitano y reconocer que sus limitaciones no derivan exclusivamente de la ausencia de infraestructura. También se relacionan con la condición de los activos, la configuración del sistema, la transformación territorial, la calidad y disponibilidad de la información y la capacidad institucional para coordinar decisiones de largo plazo.

El propósito de este capítulo es transformar esos resultados en una estructura estratégica que permita formular y comparar alternativas. Para ello, se distinguen dos conceptos:

Restricción estructural**:** condición que limita de manera recurrente la capacidad del sistema para proporcionar servicios confiables, seguros y sostenibles.

Capacidad por fortalecer**:** función técnica, operativa, territorial o institucional necesaria para reducir la restricción y mejorar el desempeño del sistema.

Esta relación no deberá interpretarse como una correspondencia directa entre una restricción y una obra específica. Una misma restricción puede requerir mantenimiento, rehabilitación, renovación, nueva infraestructura, ajustes operativos, regulación territorial, generación de información o fortalecimiento institucional.

De manera semejante, una alternativa puede contribuir simultáneamente a más de una capacidad. Por ejemplo, la recuperación de almacenamiento puede

mejorar la confiabilidad, la flexibilidad operativa, la eficiencia energética y la respuesta ante contingencias.

El capítulo establece las capacidades que deberán utilizarse como referencia para formular y evaluar opciones en las siguientes etapas de planeación.

4.2 Restricciones estructurales del sistema hídrico metropolitano

La integración del diagnóstico permite agrupar las restricciones en seis dimensiones estratégicas.

Confiabilidad limitada de componentes críticos

El sistema depende de fuentes, conducciones, plantas, tanques, redes, colectores y otras instalaciones cuya pérdida de desempeño puede afectar zonas amplias o interrumpir procesos esenciales.

La restricción no se explica únicamente por la antigüedad. También intervienen la condición física, la falta de redundancia, el mantenimiento, la disponibilidad de equipos, la calidad del agua, la energía y las condiciones de operación.

La confiabilidad deberá fortalecerse mediante conocimiento de los activos, conservación preventiva, rehabilitación, renovación, redundancia funcional y capacidad para responder ante fallas o mantenimientos programados.

Flexibilidad e integración operativa insuficientes

La disponibilidad total de agua o infraestructura no garantiza que los caudales puedan trasladarse, regularse o aprovecharse donde se requieren. Las restricciones de conducción, almacenamiento, interconexión y control pueden limitar la capacidad para responder a variaciones de demanda, calidad, disponibilidad o contingencias.

Esta condición también aparece en saneamiento, cuando la recolección y conducción no corresponden con la capacidad de tratamiento, y en gestión pluvial, cuando las intervenciones se analizan de manera localizada y no como parte de una cuenca. La capacidad para fortalecer consiste en integrar los componentes y disponer de configuraciones operativas que permitan transferir, regular, aislar, respaldar o complementar funciones.

Gestión incompleta del ciclo de vida de los activos

La infraestructura metropolitana fue construida durante periodos diferentes y presenta condiciones, materiales y niveles de desempeño heterogéneos. En diversos componentes no se dispone todavía de inventarios homogéneos que relacionen antigüedad, condición, fallas, criticidad y mantenimiento.

Esta restricción dificulta diferenciar entre activos que pueden conservarse, componentes que requieren rehabilitación y elementos cuya renovación o sustitución debe programarse. La capacidad por fortalecer es una gestión de activos que articule catastro, inspección, condición, desempeño, riesgo, costo del ciclo de vida y consecuencias de falla.

Capacidad de adaptación limitada ante cambios territoriales y climáticos

El crecimiento urbano, la impermeabilización, la evolución de la demanda, la variabilidad hidrológica y los cambios en la calidad del agua pueden modificar las condiciones para las cuales fue concebida la infraestructura.

Esta restricción resulta especialmente relevante en la gestión pluvial, pero también afecta el abastecimiento, la potabilización, el almacenamiento, las redes y el saneamiento.

La capacidad por fortalecer comprende planeación bajo escenarios, infraestructura escalable, protección de funciones hidrológicas, nueva capacidad donde exista un déficit demostrado y mecanismos para actualizar las decisiones conforme se genere nueva evidencia.

Información fragmentada y eficiencia operativa limitada

La coexistencia de mediciones, modelos, catastros y bases de datos con diferentes niveles de actualización dificulta construir balances homogéneos y conocer la capacidad efectiva del sistema. Esta condición limita la identificación de pérdidas, el análisis energético, la programación del mantenimiento, la anticipación de fallas y la comprobación de resultados.

La capacidad por fortalecer consiste en consolidar medición confiable, balances de agua y energía, interoperabilidad, automatización de procesos críticos y una relación directa entre información, operación, mantenimiento y evaluación.

Coordinación y continuidad institucional insuficientes

Las responsabilidades sobre el sistema hídrico se distribuyen entre diferentes instituciones, municipios, órdenes de gobierno y áreas técnicas. Esta diversidad requiere mecanismos de coordinación capaces de mantener criterios comunes, compartir información y conservar continuidad entre periodos administrativos.

La fragmentación puede provocar repetición de estudios, pérdida de memoria técnica, decisiones no articuladas o infraestructura sin responsabilidades claras de operación y mantenimiento.

La capacidad por fortalecer comprende gobernanza metropolitana, investigación aplicada, formación especializada, gestión del conocimiento, seguimiento y evaluación permanente.

4.3 Matriz estratégica de restricciones y capacidades

Cuadro 4. Restricciones estructurales y capacidades por fortalecer

Restricción estructural	Manifestación en el sistema	Capacidad por fortalecer	Resultado esperado
Confiabilidad limitada de componentes críticos	Dependencia de infraestructura estratégica, componentes sin respaldo suficiente, fallas, mantenimiento diferido o diferencias entre capacidad nominal y disponible.	Confiabilidad, redundancia funcional, conservación, rehabilitación y renovación programada.	Mayor continuidad y capacidad de respuesta ante fallas, contingencias y mantenimiento.
Flexibilidad e integración operativa insuficientes	Limitaciones para transferir caudales, regular volúmenes, interconectar sistemas o coordinar producción, distribución, recolección y tratamiento.	Integración hidráulica, almacenamiento, interconexión, control operativo y planeación sistémica.	Mejor aprovechamiento de la capacidad existente y mayor adaptabilidad operativa.
Gestión incompleta del ciclo de vida de los activos	Catastros fragmentados, información limitada sobre condición, mantenimiento reactivo y dificultad para programar renovaciones.	Gestión de activos, inspección, criticidad, mantenimiento preventivo y programación plurianual.	Decisiones sustentadas sobre conservación, rehabilitación, renovación o sustitución.
Capacidad de adaptación limitada	Infraestructura y criterios de operación que no incorporan plenamente el crecimiento urbano, la variabilidad hidrológica, el cambio climático o la evolución de la calidad del agua.	Planeación por escenarios, resiliencia, nueva capacidad, soluciones escalables y gestión territorial.	Sistema preparado para condiciones futuras y reducción de riesgos acumulativos.
Información y eficiencia operativa insuficientemente integradas	Balances incompletos, mediciones heterogéneas, pérdidas, consumos energéticos poco vinculados con el desempeño y sistemas digitales fragmentados.	Medición, balances, control de pérdidas, eficiencia energética, interoperabilidad y automatización crítica.	Mayor conocimiento operativo, recuperación de capacidad y decisiones oportunas.
Coordinación y continuidad institucional limitadas	Distribución de responsabilidades, pérdida de memoria técnica, discontinuidad de estudios y limitada articulación entre territorio e infraestructura.	Gobernanza metropolitana, investigación, gestión del conocimiento, formación y evaluación.	Continuidad técnica, corresponsabilidad y decisiones sustentadas en evidencia.

Nota: Las capacidades señaladas constituyen funciones estratégicas que requieren fortalecimiento. No representan proyectos seleccionados ni determinan anticipadamente una solución física, tecnológica o institucional.

Fuente: Elaboración propia con base en la integración del diagnóstico del Capítulo III.

4.4 Capacidades estructurales por fortalecer

Confiabilidad.

La confiabilidad representa la capacidad del sistema para mantener sus funciones esenciales bajo condiciones ordinarias, durante mantenimientos y frente a fallas o contingencias.

Su fortalecimiento requiere conocer la capacidad efectiva de los componentes, identificar puntos únicos de falla, conservar equipos de respaldo y programar la rehabilitación o renovación de los activos críticos. La confiabilidad no implica duplicar toda la infraestructura. Requiere que el nivel de respaldo corresponda con la consecuencia de una interrupción y que existan procedimientos para recuperar oportunamente el servicio.

Flexibilidad e integración.

La flexibilidad permite utilizar distintas configuraciones conforme cambian la disponibilidad, la demanda, la calidad o las condiciones operativas. Esta capacidad puede fortalecerse mediante almacenamiento, interconexiones, sectorización, regulación, control, coordinación entre instalaciones y alternativas que reduzcan la dependencia de una sola ruta o configuración. La integración deberá comprender también las relaciones entre agua potable, alcantarillado, saneamiento, drenaje pluvial y territorio, evitando que una decisión produzca restricciones en otro subsistema.

Gestión de activos

La gestión de activos deberá proporcionar una base objetiva para decidir cuándo conservar, mantener, rehabilitar, renovar, sustituir o desarrollar nueva infraestructura. Esta capacidad requiere conocer no sólo la edad, sino también la condición, desempeño, criticidad, historial de fallas, mantenimiento, costos y consecuencias de pérdida de servicio. La programación deberá priorizar los activos donde coincidan pérdida de capacidad, riesgo elevado, fallas recurrentes o consecuencias relevantes para la población y los servicios esenciales.

Adaptación y resiliencia

La adaptación representa la capacidad para ajustar progresivamente el sistema ante cambios urbanos, hidrológicos, climáticos, tecnológicos y sociales.

El fortalecimiento deberá combinar infraestructura, operación, regulación territorial, monitoreo, preparación y capacidad de recuperación. En algunos componentes será necesario conservar o adecuar lo existente; en otros deberá estudiarse y desarrollar nueva capacidad. Las alternativas deberán privilegiar configuraciones robustas, escalables y compatibles con distintos escenarios, evitando soluciones rígidas cuya eficacia dependa de una única proyección.

Eficiencia e información

La eficiencia deberá comprender el uso del agua, la energía, la infraestructura, los recursos financieros y la información. Su fortalecimiento requiere balances confiables, localización de pérdidas, análisis de consumos, gestión de presiones, medición de desempeño y vinculación entre operación y mantenimiento.

La digitalización será un medio para integrar información, anticipar fallas y apoyar decisiones, pero no sustituirá procesos definidos, datos de calidad ni capacidades humanas.

Gobernanza y conocimiento

La gobernanza deberá garantizar que las competencias institucionales se articulen y que las decisiones mantengan continuidad técnica.

Esta capacidad comprende coordinación, investigación aplicada, gestión del conocimiento, formación especializada, participación y evaluación.

La generación de evidencia deberá vincularse con problemas concretos del sistema y conservarse en repositorios que permitan recuperar estudios, modelos, criterios y decisiones anteriores.

4.5 Relación entre capacidades y conceptos de actuación

Las capacidades anteriores pueden fortalecerse mediante diferentes conceptos de actuación. Para efectos de la evaluación posterior, éstos pueden agruparse en seis familias:

- ✔ **Operación y mantenimiento:** recuperación de capacidad, ajustes operativos, mantenimiento preventivo y mejora de protocolos.
- ✔ **Rehabilitación y renovación:** intervención sobre activos existentes para restablecer su condición, prolongar su vida o reducir el riesgo de falla.
- ✔ **Nueva infraestructura:** desarrollo de capacidad adicional cuando exista una insuficiencia estructural demostrada.
- ✔ **Gestión territorial y ambiental:** protección de fuentes, cuencas, cauces, zonas de regulación y control de transformaciones que generen nuevos riesgos.
- ✔ **Información, eficiencia y digitalización:** medición, balances, modelación, automatización, interoperabilidad y soporte a decisiones.
- ✔ **Fortalecimiento institucional y conocimiento:** coordinación, investigación, formación, memoria técnica, participación y evaluación.

Estas familias no deberán convertirse automáticamente en programas independientes. Una alternativa robusta podrá integrar varias de ellas y deberá demostrar cómo contribuye a las capacidades requeridas.

4.6 Criterios para orientar la formulación de alternativas

La formulación deberá conservar una relación verificable entre la restricción y la capacidad que se pretende fortalecer. Una alternativa no deberá incorporarse únicamente porque exista un proyecto previo, una fuente de financiamiento o una tecnología disponible.

La pertinencia deberá evaluarse conforme a los siguientes criterios:

- ✔ evidencia y magnitud de la restricción;
- ✔ criticidad de la población, infraestructura o servicio afectado;
- ✔ contribución a una o varias capacidades estructurales;
- ✔ interdependencias y posibles efectos sobre otros componentes;
- ✔ madurez de la información y de los estudios;
- ✔ desempeño durante el ciclo de vida;

- ✔ capacidad de adaptación y ampliación;
- ✔ viabilidad territorial, ambiental, social e institucional;
- ✔ operación, mantenimiento y sostenibilidad financiera;
- ✔ y posibilidad de medir los resultados obtenidos.

La urgencia y la madurez deberán analizarse de manera diferenciada. Una necesidad puede ser crítica y todavía requerir estudios antes de definir una solución; otra puede contar con ingeniería avanzada, pero atender una restricción de menor prioridad sistémica.

Esta diferenciación permitirá programar simultáneamente medidas inmediatas, estudios y alternativas de largo plazo sin confundirlas dentro de una sola cartera.

4.7 Implicación para la planeación

La planeación deberá orientarse a fortalecer capacidades y no únicamente a acumular proyectos. Las obras, medidas operativas, instrumentos territoriales y acciones institucionales deberán justificarse por la restricción que atienden y por el desempeño que permiten alcanzar.

La secuencia deberá conservar la trazabilidad siguiente:

condición documentada → restricción estructural → capacidad por fortalecer → concepto de actuación → alternativas → evaluación comparada

Esta lógica permitirá identificar diferentes formas de responder a una misma necesidad y evitará que el diagnóstico se utilice exclusivamente para respaldar soluciones definidas con anterioridad. Los estudios y proyectos existentes deberán incorporarse dentro de esta secuencia conforme a su alcance, vigencia y nivel de madurez. Podrán constituir alternativas relevantes, pero deberán evaluarse bajo los mismos criterios que las demás opciones.

SÍNTESIS TÉCNICA CAPÍTULO IV

Las restricciones estructurales del sistema hídrico metropolitano se relacionan con confiabilidad, flexibilidad, gestión de activos, adaptación, información y coordinación institucional. Su atención requiere combinar operación, mantenimiento, renovación, nueva infraestructura, gestión territorial, eficiencia y conocimiento. La planeación deberá organizarse alrededor de las capacidades que se pretende fortalecer y conservar trazabilidad entre el diagnóstico y las alternativas, sin predeterminar todavía proyectos ni decisiones de inversión.

BASES TÉCNICAS

PARA LA PRIORIZACIÓN
DE LAS INTERVENCIONES ESTRATÉGICAS
PARA LA SEGURIDAD HÍDRICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJAR

CAPÍTULO V

METODOLOGÍA PARA LA FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

CAPÍTULO V

METODOLOGÍA PARA LA FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

5.1 Propósito y alcance

El diagnóstico permitió identificar las condiciones del sistema hídrico metropolitano, sus restricciones estructurales y las capacidades que requieren fortalecimiento. La etapa siguiente consiste en transformar esos resultados en alternativas técnicamente comparables.

El propósito de este capítulo es establecer una metodología que permita formular, evaluar y ordenar diferentes respuestas sin asumir anticipadamente que toda restricción debe resolverse mediante infraestructura nueva.

Las alternativas podrán integrar operación y mantenimiento, rehabilitación, renovación, nueva capacidad, gestión territorial, información, investigación, fortalecimiento institucional o combinaciones de estos elementos.

La metodología deberá conservar la siguiente trazabilidad:

condición documentada → restricción estructural → capacidad por fortalecer → alternativas → evaluación comparada → línea de actuación

Este proceso no selecciona todavía proyectos ni determina presupuestos. Su función es establecer una base común para reconocer qué opciones ofrecen mayor contribución al desempeño integral del sistema y qué estudios se requieren antes de tomar decisiones.

5.2 Construcción técnica y participativa de las bases y formulación de alternativas

Las alternativas no deberán derivarse exclusivamente de estudios de gabinete ni de una relación de proyectos previamente elaborados. Su formulación deberá integrar el conocimiento técnico acumulado, la experiencia operativa, la evidencia territorial y la participación de los actores relacionados con la gestión del agua.

La formulación de alternativas deberá integrar el diagnóstico técnico, los estudios existentes, la experiencia operativa, la participación multiactor y los aprendizajes derivados de la cooperación y las giras técnicas. Las opciones deberán evaluarse por su contribución a las capacidades estructurales, su desempeño durante el ciclo de vida, su adaptación a condiciones futuras y su viabilidad institucional y territorial. El resultado será una agenda de líneas de actuación, estudios, acciones y alternativas en distintos niveles de madurez, sin predeterminar todavía proyectos ni decisiones de inversión.

Figura 9. Proceso técnico y participativo de construcción de las Bases Técnicas

Nota: Los componentes representados corresponden a procesos acumulativos, relacionados y desarrollados en distintos momentos. No constituyen una secuencia cronológica rígida ni implican que todas las actividades hayan tenido el mismo alcance o duración.

Fuente: Elaboración propia con base en el proceso técnico, institucional, territorial y participativo desarrollado para la construcción de las presentes Bases Técnicas.

La participación no sustituyó la evaluación técnica ni tuvo como finalidad validar decisiones previamente adoptadas. Permitió incorporar conocimientos institucionales, operativos, territoriales y sociales, contrastar los resultados del

diagnóstico y ampliar las alternativas consideradas. Las giras y los intercambios aportaron referencias comparativas, cuya pertinencia deberá evaluarse conforme a las condiciones físicas, institucionales y sociales del Área Metropolitana de Guadalajara.

Este enfoque se sustenta en procesos desarrollados previamente, entre ellos el Modelo de Gestión Hídrica de Jalisco, las jornadas metropolitanas, mesas de trabajo, reuniones con instituciones, consultas con especialistas, colaboración académica, participación de colegios y asociaciones profesionales, sociedad civil organizada y ejercicios de cooperación nacional e internacional.

Las giras técnicas y los intercambios con otras ciudades y organismos también aportan referencias sobre tecnologías, modelos institucionales, sistemas de operación y experiencias de adaptación. Sin embargo, las prácticas observadas no deberán trasladarse de forma automática. Su utilidad consiste en ampliar el conjunto de opciones y reconocer condiciones de éxito, limitaciones y aprendizajes que deben analizarse conforme al contexto metropolitano.

La participación cumple tres funciones principales:

identificar necesidades y experiencias territoriales → contrastar la interpretación técnica → enriquecer y evaluar alternativas

No sustituye la evaluación hidráulica, ambiental, económica o jurídica. Tampoco deberá utilizarse únicamente para validar decisiones previamente definidas. Su contribución consiste en incorporar conocimientos que no siempre se encuentran en los registros formales y mejorar la comprensión de los efectos operativos, sociales e institucionales de las opciones.

5.3 Fuentes para la formulación de alternativas

La construcción de alternativas deberá integrar cinco tipos de insumos.

- ✔ El primero corresponde al diagnóstico técnico desarrollado en estas Bases, incluyendo los balances, la condición de los activos, la configuración de los sistemas, los riesgos y los vacíos de información.
- ✔ El segundo comprende los estudios, anteproyectos y proyectos existentes. Estos documentos deberán valorarse conforme a su alcance, fecha, calidad de la información y nivel de madurez, sin considerar su existencia como una decisión de ejecución.
- ✔ El tercero deriva del conocimiento operativo de las instituciones y del personal responsable de fuentes, plantas, redes, saneamiento, infraestructura pluvial y servicios asociados.
- ✔ El cuarto corresponde a los procesos participativos desarrollados mediante el Modelo de Gestión Hídrica, las jornadas, mesas técnicas, talleres y espacios de diálogo con instituciones públicas, academia, especialistas, sectores productivos y sociedad civil.
- ✔ El quinto comprende las experiencias y referencias obtenidas mediante giras técnicas, cooperación internacional y análisis de prácticas aplicadas en otros territorios.

La integración de estos insumos permitirá evitar que la formulación se limite a una sola disciplina, institución o tipo de solución.

5.4 Proceso de formulación

Cada alternativa deberá comenzar con una restricción claramente definida. No será suficiente expresar de manera general que existe falta de agua, deterioro, inundaciones o insuficiencia de infraestructura.

La formulación deberá responder, al menos, a las siguientes preguntas:
¿Qué condición se encuentra documentada?
¿Cuál es la causa predominante de la restricción?
¿Qué capacidad debe fortalecerse?
¿Qué opciones pueden atenderla?

¿Qué información falta para evaluarlas?
¿Cómo se comprobará el resultado?

A partir de estas preguntas podrán formularse diferentes familias de respuesta. Por ejemplo, una restricción de confiabilidad podrá atenderse mediante mantenimiento, rehabilitación, renovación, redundancia operativa o nueva capacidad. La comparación deberá determinar cuál combinación resulta más adecuada. La formulación deberá evitar alternativas excesivamente generales, como “mejorar la infraestructura”, y también definiciones prematuras que establezcan ubicación, capacidad o tecnología sin contar con los estudios suficientes.

Cuando la información no permita formular una solución concreta, la alternativa podrá consistir inicialmente en desarrollar estudios, monitoreo, modelación, inspecciones o ingeniería. La generación de conocimiento también constituye una acción cuando reduce incertidumbres relevantes para la toma de decisiones.

5.5 Evaluación comparada

Las alternativas deberán evaluarse bajo criterios homogéneos, pero reconociendo las diferencias entre medidas operativas, institucionales, territoriales y de infraestructura.

Los criterios deberán considerar:

- ✔ contribución a la reducción de la restricción;
- ✔ mejora de la confiabilidad, flexibilidad o resiliencia;
- ✔ integración con otros componentes del sistema;
- ✔ población, territorio y servicios beneficiados;
- ✔ riesgos técnicos, ambientales y sociales;
- ✔ preparación ante escenarios futuros y cambio climático;
- ✔ madurez de los estudios y calidad de la información;

- ✔ costos de inversión, operación, mantenimiento y ciclo de vida;
- ✔ capacidad institucional requerida;
- ✔ tiempo necesario para producir resultados;
- ✔ y posibilidad de medir y verificar el desempeño.

La evaluación deberá distinguir entre prioridad y madurez. Una necesidad puede ser prioritaria, pero requerir estudios adicionales antes de definir una intervención. De forma inversa, una alternativa puede contar con ingeniería avanzada y no representar la mayor contribución sistémica.
Esta diferenciación permitirá organizar simultáneamente acciones inmediatas, estudios de maduración y decisiones de mediano y largo plazo.

5.6 Valoración de estudios y proyectos existentes

Los estudios y proyectos elaborados previamente forman parte del capital técnico disponible. Deberán recuperarse, clasificarse y evaluarse para evitar duplicidades y aprovechar la información existente.

Su análisis deberá considerar:
vigencia de los datos → correspondencia con el diagnóstico actual → alcance técnico → nivel de ingeniería → viabilidad territorial → actualización requerida

Un proyecto ejecutivo no deberá considerarse automáticamente listo para ejecución cuando las condiciones de la cuenca, la demanda, los costos, las normas o el territorio hayan cambiado. De igual manera, una alternativa con menor nivel de ingeniería no deberá descartarse si responde de mejor manera a una restricción prioritaria. En ese caso, la acción correspondiente será avanzar en su maduración técnica. Los antecedentes deberán entenderse como opciones dentro de un proceso comparativo y no como soluciones que las Bases Técnicas deban justificar.

5.7 Participación en la valoración de alternativas

La participación deberá acompañar la evaluación en los momentos donde pueda mejorar la calidad de las decisiones. Las áreas operativas deberán revisar la factibilidad de mantenimiento, operación y respuesta ante fallas. Las instituciones responsables del territorio y el ambiente deberán identificar restricciones jurídicas, urbanas o ambientales. La academia y los especialistas podrán apoyar la revisión de supuestos y metodologías. Los usuarios, sectores productivos y organizaciones sociales podrán aportar información sobre afectaciones, aceptación, accesibilidad y consecuencias territoriales.

Los procesos participativos deberán mantener registro de los planteamientos recibidos, la evidencia aportada y la forma en que fueron incorporados o descartados. Esto permitirá evitar consultas sin efectos verificables y conservar memoria de los acuerdos y diferencias. La participación no implica que todas las alternativas deban seleccionarse mediante votación. Las decisiones técnicas deberán conservar responsabilidad institucional, pero sustentarse en evidencia, transparencia y diálogo informado.

5.8 De las alternativas a las líneas estratégicas de actuación

La evaluación deberá producir una estructura de actuación que permita avanzar progresivamente desde el diagnóstico hacia decisiones posteriores.

Las alternativas podrán ordenarse en seis líneas:

1. Recuperación y conservación de la capacidad existente. Incluye operación, mantenimiento, rehabilitación, reducción de pérdidas, recuperación de almacenamiento y mejora de procesos.
2. Renovación de infraestructura crítica. Comprende la sustitución o renovación progresiva de redes, conducciones, equipos y componentes cuya condición, desempeño o criticidad lo justifiquen.

3. Desarrollo de nueva capacidad. Integra los estudios y la infraestructura necesaria cuando exista un déficit estructural demostrado de abastecimiento, conducción, regulación, producción, saneamiento o gestión pluvial.
4. Adaptación territorial y climática. Considera gestión por cuencas, protección de fuentes, regulación, infiltración, infraestructura verde-azul, reducción de exposición y preparación ante eventos futuros.
5. Eficiencia, información e innovación. Comprende medición, balances, digitalización, modelación, monitoreo, automatización, investigación aplicada y evaluación de tecnologías.
6. Gobernanza y fortalecimiento institucional. Incluye coordinación metropolitana, formación técnica, gestión del conocimiento, participación, continuidad de los procesos y evaluación periódica.

Estas líneas permiten orientar estrategias y acciones sin convertirlas todavía en una cartera definitiva. Cada una podrá contener medidas inmediatas, estudios, proyectos en maduración y acciones de largo plazo.

5.9 Productos de la evaluación

La metodología deberá generar, como mínimo, los siguientes productos:

- ✔ Matriz de alternativas, relacionada con las restricciones y capacidades.
- ✔ Clasificación por nivel de madurez, diferenciando ideas, estudios, prefactibilidad, factibilidad, ingeniería básica y proyectos ejecutivos.
- ✔ Secuencia temporal, que distinga acciones inmediatas, corto, mediano y largo plazo.
- ✔ Agenda de estudios, para cerrar vacíos de información y desarrollar alternativas prioritarias.
- ✔ Líneas estratégicas de actuación, que permitan integrar infraestructura, operación, territorio, información y fortalecimiento institucional.
- ✔ Indicadores de resultado, para comprobar posteriormente si las medidas fortalecen las capacidades previstas.

Estos productos deberán conservar trazabilidad con el diagnóstico y permitir actualizaciones conforme se genere nueva evidencia.

5.10 Implicación para la continuidad de la planeación

La metodología permite avanzar desde la identificación de problemas hacia una agenda ordenada de decisiones. Su aplicación deberá evitar que las prioridades dependan exclusivamente de la disponibilidad inmediata de recursos, de la existencia previa de proyectos o de condiciones coyunturales. La programación posterior deberá combinar acciones de rápida implementación con procesos de maduración técnica. Mientras se desarrollan estudios para infraestructura de mayor complejidad, podrán fortalecerse mantenimiento, medición, operación, monitoreo, coordinación y gestión territorial.

El resultado deberá ser una hoja de ruta progresiva que articule:

acciones inmediatas → estudios y proyectos → fortalecimiento de capacidades → programación de largo plazo

Esta estructura permitirá que la política hídrica avance de manera continua, sin perder la relación entre evidencia, participación, decisiones y resultados.

BASES TÉCNICAS

PARA LA PRIORIZACIÓN
DE LAS INTERVENCIONES ESTRATÉGICAS
PARA LA SEGURIDAD HÍDRICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJAR

CAPÍTULO VI

CONTINUIDAD TÉCNICA, ACTUALIZACIÓN Y RUTA DE IMPLEMENTACIÓN

JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

CAPÍTULO VI

CONTINUIDAD TÉCNICA, ACTUALIZACIÓN Y RUTA DE IMPLEMENTACIÓN

6.1 Propósito y alcance

Las Bases Técnicas no concluyen con la identificación de restricciones ni con la formulación de alternativas. Su utilidad depende de la capacidad institucional para traducir sus resultados en una secuencia ordenada de decisiones, estudios, acciones y mecanismos de seguimiento que permitan fortalecer progresivamente la seguridad hídrica del Área Metropolitana de Guadalajara.

El propósito de este capítulo es establecer la lógica de continuidad que deberá orientar la etapa posterior al diagnóstico y a la formulación de alternativas. No se trata todavía de definir un programa cerrado de inversiones ni una cartera definitiva de proyectos, sino de plantear una ruta de implementación gradual, sustentada en evidencia, actualización técnica y coordinación institucional.

Bajo este enfoque, la continuidad deberá conservar la siguiente secuencia:
diagnóstico integrado → formulación y evaluación de alternativas → maduración técnica → programación gradual → seguimiento y actualización
Esta secuencia permitirá mantener la trazabilidad entre la evidencia documentada en estas Bases, las decisiones posteriores y los resultados que se espera alcanzar a corto, mediano y largo plazo.

6.2 Principios para la continuidad de la planeación

La etapa posterior deberá desarrollarse conforme a seis principios.

1. Gradualidad. Las decisiones deberán organizarse de manera progresiva, diferenciando entre acciones inmediatas, estudios

prioritarios, alternativas en maduración y actuaciones de largo plazo.

2. Trazabilidad. Toda acción posterior deberá mantener una relación explícita con la restricción que atiende, la capacidad que busca fortalecer y la evidencia que la sustenta.
3. Flexibilidad. La ruta de implementación deberá poder ajustarse conforme cambien las condiciones del sistema, se genere nueva información o evolucionen las prioridades territoriales y climáticas.
4. Integralidad. Las decisiones no deberán evaluarse de manera aislada. Su contribución deberá analizarse en relación con el conjunto del sistema hídrico y sus interdependencias.
5. Continuidad técnica. La actualización del conocimiento, los estudios y las decisiones deberá trascender los periodos administrativos y conservar memoria institucional.
6. Evaluación. Las acciones deberán acompañarse de indicadores, mecanismos de seguimiento y criterios de revisión que permitan comprobar sus resultados y ajustar la planeación.

Estructura de la ruta de implementación

La continuidad de la planeación deberá organizarse en cuatro niveles complementarios.

a) Acciones de atención inmediata. Corresponden a medidas que pueden fortalecer el sistema en el corto plazo mediante operación, mantenimiento, recuperación de capacidad, mejora de medición, actualización de información, coordinación operativa o atención de restricciones claramente documentadas. Estas acciones no sustituyen los estudios ni las decisiones de mayor alcance, pero pueden reducir riesgos, recuperar capacidad y mejorar las condiciones para la etapa siguiente.

b) Agenda de estudios y maduración técnica Incluye los diagnósticos, inspecciones, modelaciones, análisis de alternativas, prefactibilidades, factibilidades, ingenierías básicas y demás estudios requeridos para reducir incertidumbre y aumentar la madurez de las opciones estratégicas. La agenda de estudios constituye una parte esencial de la implementación. En varios casos, la acción prioritaria no será todavía ejecutar una intervención física, sino generar la información necesaria para compararla adecuadamente.

c) Actuaciones estratégicas de mediano plazo. Comprenden las alternativas que, una vez evaluadas y maduradas, muestren capacidad para fortalecer la confiabilidad, la flexibilidad, la gestión de activos, la adaptación, la eficiencia o la resiliencia del sistema. Estas actuaciones podrán integrar conservación, renovación, infraestructura adicional, gestión territorial, digitalización, investigación o fortalecimiento institucional, según la naturaleza de cada restricción.

d) Consolidación de largo plazo. Corresponde a la construcción progresiva de un sistema más robusto, integrado y adaptable, sustentado en mantenimiento continuo, renovación programada, nueva capacidad donde sea necesaria, monitoreo permanente y actualización periódica de la planeación.

Cuadro 5. Ruta gradual de implementación y continuidad de la planeación hídrica

Nivel de implementación	Propósito	Contenido principal	Capacidades que fortalece	Resultado esperado
1 **1. Acciones de atención inmediata** Corto plazo	Reducir riesgos, recuperar capacidad disponible y atender restricciones que cuentan con evidencia suficiente para iniciar acciones.	Operación y mantenimiento; recuperación de capacidad; atención de fallas críticas; actualización de información; mejora de medición; coordinación operativa y medidas preventivas.	Confiabilidad, eficiencia, gestión de activos, información y respuesta operativa.	Reducción de riesgos inmediatos, recuperación del desempeño y mejor conocimiento de las condiciones del sistema.
2 **2. Agenda de estudios y maduración técnica** Corto y mediano plazo	Cerrar vacíos de información, comparar alternativas y aumentar la madurez técnica de las opciones prioritarias.	Diagnósticos especializados; inspecciones; monitoreo; modelación; análisis de alternativas; prefactibilidad; factibilidad; ingeniería básica y proyectos ejecutivos cuando corresponda.	Planeación, conocimiento, adaptación, gestión del riesgo y calidad de las decisiones.	Alternativas técnicamente sustentadas, comparables y clasificadas conforme a su nivel de madurez.
3 **3. Actuaciones estratégicas** Mediano plazo	Implementar las alternativas que demuestren pertinencia, viabilidad y contribución al fortalecimiento integral del sistema hídrico.	Rehabilitación y renovación; desarrollo de nueva capacidad donde exista un déficit demostrado; fortalecimiento del saneamiento y la gestión pluvial; eficiencia; digitalización; gestión territorial y fortalecimiento institucional.	Confiabilidad, flexibilidad, integración, resiliencia, adaptación y eficiencia.	Fortalecimiento progresivo de la infraestructura, la operación, el territorio y las capacidades institucionales.
4 **4. Consolidación y actualización permanente** Largo plazo	Sostener el desempeño, adaptar las decisiones y conservar continuidad técnica frente a cambios territoriales, operativos y climáticos.	Renovación programada; monitoreo permanente; actualización de diagnósticos y modelos; investigación aplicada; evaluación de resultados; coordinación institucional; participación y gestión del conocimiento.	Gobernanza, continuidad institucional, resiliencia, aprendizaje y gestión del ciclo de vida.	Sistema hídrico más robusto, integrado, adaptable y sustentado en evidencia actualizada.

Atender y recuperar ⟶ **estudiar y madurar** ⟶ **implementar y fortalecer** ⟶ **evaluar y actualizar**

La continuidad depende de mantener la trazabilidad entre evidencia, restricción, capacidad, alternativa, resultado y actualización.

Nota: Los niveles son complementarios y pueden desarrollarse de manera simultánea. Su ubicación temporal dependerá de la urgencia de las restricciones, la madurez de las alternativas, la información disponible y la capacidad institucional. El cuadro no constituye una programación presupuestal ni una cartera definitiva de proyectos.

Fuente: Elaboración propia con base en la metodología de continuidad y ruta gradual de implementación desarrollada en el Capítulo VI.

6.3 Mecanismos de coordinación, participación y continuidad

La continuidad de la planeación requiere mecanismos institucionales que permitan conservar el vínculo entre evidencia, decisión y seguimiento. En este punto adquieren especial relevancia los procesos de participación y construcción colectiva desarrollados a través del Modelo de Gestión Hídrica de Jalisco**,** las Jornadas de Gestión Hídrica Metropolitana, las mesas técnicas, los espacios de diálogo interinstitucional y los ejercicios de cooperación e intercambio técnico.

Estos procesos no deberán considerarse únicamente antecedentes de consulta. Deberán entenderse como mecanismos de continuidad, útiles para:

- ✔ dar seguimiento a los hallazgos del diagnóstico;
- ✔ contrastar la evolución de las condiciones del sistema;
- ✔ revisar el avance de estudios y alternativas;
- ✔ incorporar nueva evidencia técnica;
- ✔ fortalecer la coordinación entre instituciones;

- ✔ y mantener una visión compartida sobre la evolución del sistema hídrico metropolitano.

La continuidad participativa deberá preservar la responsabilidad técnica e institucional de las decisiones, pero al mismo tiempo sostener canales de interacción con:

- ✔ dependencias estatales;
- ✔ organismos operadores;
- ✔ municipios metropolitanos;
- ✔ instituciones federales competentes;
- ✔ universidades y centros de investigación;
- ✔ colegios, asociaciones y especialistas;
- ✔ sectores productivos;
- ✔ y sociedad civil organizada.

Las giras técnicas, la cooperación nacional e internacional y el intercambio con otras experiencias también deberán mantenerse como instrumentos de aprendizaje comparado. Su valor no radica en replicar modelos externos, sino en enriquecer la evaluación de opciones y fortalecer la capacidad institucional para interpretar soluciones en contextos complejos.

6.4 Seguimiento y actualización

Las Bases Técnicas deberán concebirse como un instrumento dinámico. Su utilidad disminuiría si permanecieran estáticas frente a la evolución de la ciudad, la infraestructura, las fuentes, la calidad del agua, los riesgos climáticos o la disponibilidad de nueva información.

Por ello, la continuidad deberá incorporar un mecanismo de seguimiento y actualización periódica que permita revisar:

- ✔ el estado de las restricciones documentadas;
- ✔ la información nueva disponible;

- ✔ el avance de los estudios y alternativas;
- ✔ la madurez alcanzada por distintas opciones;
- ✔ los cambios en el territorio y en las condiciones operativas;
- ✔ y los resultados observados de las acciones implementadas.

La actualización no deberá implicar rehacer por completo el documento en cada revisión. Será suficiente con mantener un sistema de seguimiento que identifique qué componentes conservan vigencia, cuáles requieren ajuste y qué nuevos elementos deben incorporarse. En términos operativos, el seguimiento deberá generar al menos cuatro productos:

- ✔ registro de avances
- ✔ actualización de información crítica
- ✔ revisión de prioridades técnicas
- ✔ ajuste de la ruta de implementación

6.5 Indicadores para la continuidad de la planeación

La etapa posterior deberá definir indicadores que permitan comprobar si las acciones emprendidas fortalecen efectivamente las capacidades estructurales identificadas en estas Bases.

Estos indicadores no deberán limitarse al número de estudios realizados o de acciones ejecutadas. También deberán valorar la mejora en el desempeño del sistema. De manera general, los indicadores podrán organizarse en seis grupos:

- ✔ **confiabilidad:** continuidad, respaldo, disponibilidad operativa, reducción de fallas críticas;
- ✔ **flexibilidad:** capacidad de regulación, interconexión, adaptación operativa;
- ✔ **gestión de activos:** avance en inventarios, condición evaluada, mantenimiento, renovación programada;

- ✔ **adaptación y resiliencia:** reducción de exposición, mejora de preparación, fortalecimiento ante escenarios futuros;
- ✔ **eficiencia e información:** balances, medición, control de pérdidas, consumo energético, interoperabilidad;
- ✔ **gobernanza y conocimiento:** coordinación, seguimiento, actualización, investigación y formación especializada.

Los indicadores definitivos deberán formularse en una etapa posterior, conforme al nivel de madurez de la información y de las alternativas.

6.6 Agenda estratégica de continuidad

Como resultado de estas Bases, la continuidad de la planeación deberá estructurarse en una agenda estratégica integrada por cinco componentes.

1. Consolidación de la información. Fortalecer inventarios, balances, monitoreo, modelación, registros de operación, estudios y repositorios técnicos.
2. Maduración técnica de alternativas. Impulsar la prefactibilidad, factibilidad e ingeniería de las opciones con mayor contribución a las capacidades estructurales.
3. Recuperación y fortalecimiento de capacidades existentes. Avanzar en mantenimiento, rehabilitación, mejora operativa, eficiencia, control de pérdidas y recuperación de capacidad instalada.
4. Desarrollo progresivo de capacidades estratégicas. Orientar las decisiones futuras hacia confiabilidad, flexibilidad, adaptación, resiliencia, saneamiento efectivo y gestión pluvial integral.
5. Fortalecimiento institucional y participación continua. Dar permanencia a los espacios de coordinación, al intercambio técnico, a la investigación aplicada y a la construcción colectiva del conocimiento.

Esta agenda no representa todavía una programación financiera ni una secuencia cerrada de ejecución. Constituye una guía para organizar la transición entre el diagnóstico y las decisiones posteriores.

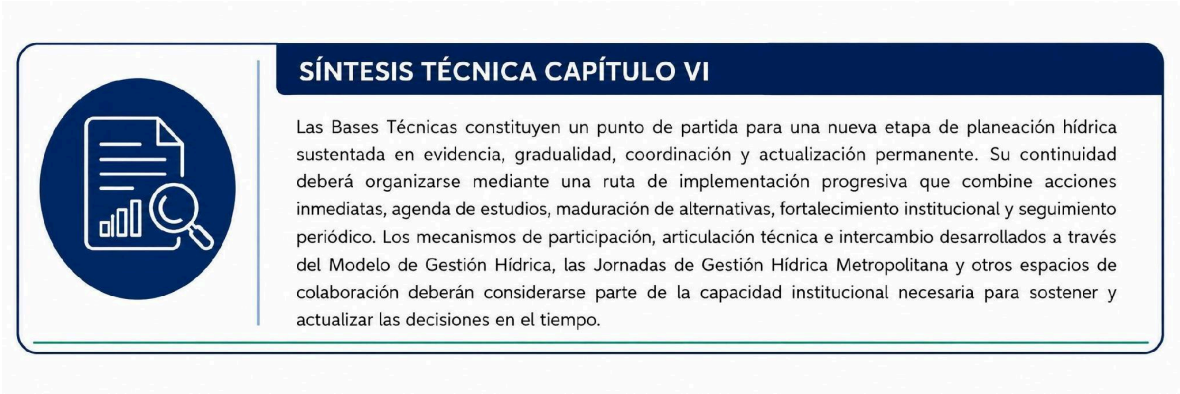
6.7 Implicación para la toma de decisiones

La principal aportación de estas Bases Técnicas consiste en haber documentado que las decisiones públicas en materia hídrica pueden y deben sustentarse en evidencia técnica acumulada, análisis sistémico y procesos de construcción colectiva del conocimiento.

A partir de ello, la etapa posterior no deberá limitarse a seleccionar obras o integrar una cartera de proyectos. Deberá construir una ruta técnica de fortalecimiento progresivo del sistema hídrico metropolitano, capaz de combinar acciones inmediatas, estudios, alternativas estratégicas y mecanismos de actualización.

La continuidad institucional será tan importante como la capacidad de inversión. Sin seguimiento, evaluación, coordinación y memoria técnica, incluso las mejores alternativas pueden perder efectividad o desconectarse del diagnóstico que les dio origen. En consecuencia, la implementación deberá mantener la lógica siguiente:

evidencia → restricción → capacidad → alternativa → maduración → programación → seguimiento → actualización



CONCLUSIONES GENERALES

Las presentes Bases Técnicas consolidan una lectura integral del sistema hídrico del Área Metropolitana de Guadalajara. Su principal aportación consiste en demostrar que los desafíos actuales no pueden atribuirse a una sola fuente, infraestructura, institución o condición climática. Son resultado de la interacción acumulada entre crecimiento urbano, transformación territorial, envejecimiento y desempeño desigual de los activos, concentración de funciones estratégicas, insuficiente renovación, fragmentación de la información, limitada continuidad de la planeación y falta de inversión.

Esta interpretación modifica la forma de aproximarse a las decisiones. El reto ya no consiste únicamente en incrementar capacidades físicas, sino en asegurar que las fuentes, conducciones, plantas, tanques, redes, colectores, sistemas de tratamiento e infraestructura pluvial funcionen de manera confiable, integrada y adaptable. La seguridad hídrica dependerá tanto de la infraestructura que deba conservarse, rehabilitarse, renovarse o desarrollarse como de la capacidad técnica, administrativa y financiera para operarla, monitorearla y mantenerla durante todo su ciclo de vida.

Una base técnica previa a la definición de acciones

La función del presente documento es establecer las condiciones del sistema, reconocer las restricciones estructurales, identificar las capacidades que requieren fortalecimiento y definir una metodología para formular y comparar alternativas.

Por esta razón, las referencias a infraestructura, estudios o proyectos existentes se incorporan como antecedentes técnicos y niveles de madurez, no como decisiones definitivas de programación o ejecución. La transición hacia acciones concretas deberá conservar la trazabilidad entre la restricción documentada, la

capacidad que se pretende fortalecer, las alternativas disponibles y el resultado esperado.

Esta lógica permite distinguir entre necesidades que pueden atenderse mediante operación y mantenimiento, componentes que requieren rehabilitación o renovación, sectores donde deberá estudiarse nueva infraestructura y restricciones cuya respuesta principal corresponde a información, regulación territorial, coordinación o fortalecimiento institucional.

Confiabilidad, renovación y nueva capacidad

El diagnóstico confirma la necesidad de fortalecer la gestión del ciclo de vida de la infraestructura. Las redes de agua potable y alcantarillado, las conducciones, los tanques, las plantas, los colectores y los componentes pluviales fueron construidos en periodos diferentes y presentan condiciones heterogéneas. La antigüedad no determina automáticamente la sustitución de un activo, pero sí exige inspección, conocimiento de su condición, análisis de criticidad y programación progresiva de mantenimiento, rehabilitación y renovación. Continuar operando predominantemente mediante respuestas correctivas puede incrementar los riesgos, costos y afectaciones acumuladas.

Al mismo tiempo, la renovación de lo existente no será suficiente en todos los casos. El crecimiento metropolitano y la transformación de las cuencas han generado necesidades que pueden requerir nueva capacidad de conducción, regulación, almacenamiento, producción, saneamiento o gestión pluvial.

Particularmente en materia pluvial, el AMG necesita avanzar en los estudios que permitan determinar la infraestructura requerida para gestionar adecuadamente los escurrimientos y prepararse ante condiciones futuras de mayor variabilidad climática. Esta infraestructura deberá definirse por cuencas y mediante la combinación de soluciones convencionales, regulación, infiltración, almacenamiento, recuperación hidrológica y medidas de adaptación territorial.

Información y conocimiento como infraestructura estratégica

Una parte importante de las restricciones se relaciona con la fragmentación de inventarios, balances, estudios, registros operativos y modelos. La ausencia de información integrada limita la capacidad para determinar la magnitud y localización de las pérdidas, evaluar la condición de los activos, conocer la capacidad efectiva de las plantas o anticipar el comportamiento de las cuencas.

La medición, el monitoreo, la modelación, la interoperabilidad y la gestión del conocimiento deberán reconocerse como capacidades estratégicas. No constituyen elementos accesorios frente a la infraestructura física, sino condiciones necesarias para utilizarla adecuadamente y evaluar sus resultados.

La transformación digital deberá partir de procesos definidos, datos confiables y necesidades operativas verificables. El objetivo no será acumular sensores o plataformas, sino mejorar la calidad y oportunidad de las decisiones, anticipar fallas, reducir consumos evitables y mantener memoria técnica.

Construcción técnica y participativa

Las Bases Técnicas son resultado de un proceso acumulativo que integró estudios, antecedentes institucionales, conocimiento operativo, análisis territorial, participación multiactor y aprendizaje comparado.

El Modelo de Gestión Hídrica de Jalisco, las jornadas, mesas de trabajo, reuniones técnicas y espacios de diálogo permitieron incorporar perspectivas de instituciones públicas, organismos operadores, municipios, universidades, colegios, asociaciones, especialistas, sectores productivos y sociedad civil organizada.

Las giras técnicas y los intercambios nacionales e internacionales ampliaron las referencias sobre tecnologías, infraestructura, gobernanza y modelos de gestión. Estas experiencias no se incorporaron como soluciones que deban replicarse automáticamente, sino como insumos para contrastar alternativas y reconocer condiciones de éxito y limitaciones.

La participación no sustituyó el análisis técnico ni tuvo como propósito validar decisiones previamente adoptadas. Contribuyó a construir una visión más amplia de las interdependencias del sistema y a reconocer conocimientos territoriales, operativos e institucionales que no siempre se encuentran contenidos en los estudios formales.

De la evidencia a una agenda estratégica

Los resultados permiten orientar una agenda de continuidad organizada alrededor de seis capacidades: confiabilidad; flexibilidad e integración; gestión de activos; adaptación y resiliencia; eficiencia e información; y gobernanza y conocimiento.

Estas capacidades deberán traducirse progresivamente en líneas de actuación que articulen:

operación y mantenimiento → rehabilitación y renovación → desarrollo de nueva capacidad → gestión territorial y ambiental → información e innovación → fortalecimiento institucional

La ruta de implementación deberá distinguir entre acciones de atención inmediata, estudios y procesos de maduración técnica, actuaciones estratégicas de mediano plazo y consolidación de largo plazo. Esta estructura evitará que todas las necesidades se presenten como proyectos listos para ejecución. Algunas cuentan con evidencia suficiente para iniciar acciones; otras requieren actualización, modelación, inspección, factibilidad o ingeniería antes de alcanzar un nivel adecuado de madurez.

Continuidad institucional y actualización

La utilidad de las Bases Técnicas dependerá de que permanezcan vinculadas con mecanismos de seguimiento, coordinación y actualización. Las condiciones del sistema, la ciudad y el clima continuarán modificándose; por ello, el diagnóstico no debe interpretarse como una fotografía permanente. La continuidad requerirá conservar información, actualizar balances, evaluar resultados, revisar alternativas y mantener espacios de coordinación y participación. También deberá garantizar que los estudios, modelos, bases de datos y decisiones puedan recuperarse y comprenderse más allá de los periodos administrativos.

Los procesos participativos que contribuyeron a construir las Bases pueden convertirse en mecanismos permanentes de seguimiento y aprendizaje. Las jornadas, mesas técnicas, reuniones institucionales y vínculos con la academia y la cooperación especializada pueden apoyar la revisión periódica de los avances y la incorporación de nueva evidencia.

Consideración final

Durante más de dos décadas se desarrollaron estudios, diagnósticos, proyectos, procesos participativos y experiencias institucionales que documentaron diferentes componentes de la problemática hídrica metropolitana. Las presentes Bases Técnicas integran ese conocimiento en una lectura sistémica y proporcionan una estructura común para orientar decisiones posteriores. La política pública comenzó a alinearse con la evidencia técnica acumulada durante más de veinte años.

El paso siguiente consistirá en mantener esa alineación mediante decisiones trazables, técnicamente maduras, institucionalmente sostenibles y capaces de responder tanto a las restricciones actuales como a las condiciones futuras. El

desafío ya no consiste únicamente en construir infraestructura, sino en fortalecer la capacidad del sistema hídrico metropolitano para anticipar riesgos, conservar sus activos, adaptarse al cambio, coordinar instituciones y garantizar continuidad en el tiempo.

REFERENCIAS

American Water Works Association. (2012). *Buried no longer: Confronting America's water infrastructure challenge*. AWWA.

Banco Mundial. (2025). *Diving into the digital waters: Accompanying WSS utilities along the digital journey (P509807). Digital Water Programmatic ASA: Summary of findings*. World Bank.

Comisión Nacional del Agua. (2015a). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Libro 9: Sistemas de medición del agua: Producción, operación y consumo*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Comisión Nacional del Agua. (2015b). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Libro 19: Drenaje pluvial urbano*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Comisión Nacional del Agua. (2015c). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Libro 39: Mejora de eficiencia física*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Comisión Nacional del Agua. (2020). *Programa Nacional Hídrico 2020–2024*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Comisión Nacional del Agua. (2021). *Estadísticas del agua en México 2021*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Consejo Nacional de Población. (2023). *Proyecciones de la población de México y de las entidades federativas, 2020–2070*. Secretaría General del Consejo Nacional de Población.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). *Coping with water scarcity: An action framework for agriculture and food security* (FAO Water Reports No. 38). FAO.

Global Water Partnership. (2000). *Integrated water resources management* (TAC Background Papers No. 4). Global Water Partnership.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2023). *Indicadores de derechos humanos al agua y al saneamiento*. IMTA.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. INEGI.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama, Eds.). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009325844

International Organization for Standardization. (2018a). *ISO 50001:2018. Energy management systems—Requirements with guidance for use*.

International Organization for Standardization. (2018b). *ISO 30401:2018. Knowledge management systems—Requirements*.

International Organization for Standardization. (2021). *ISO 24528:2021. Service activities relating to drinking water supply, wastewater and stormwater systems—Guideline for a water loss investigation of drinking water distribution networks*.

International Organization for Standardization. (2024). *ISO 55000:2024. Asset management—Vocabulary, overview and principles*.

Kingdom, B., Liemberger, R., & Marin, P. (2006). *The challenge of reducing non-revenue water in developing countries: How the private sector can help—A look at performance-based service contracting* (Water Supply and Sanitation Sector Board Discussion Paper No. 8). World Bank. https://doi.org/10.1596/17238

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2015). *OECD principles on water governance*. OECD.

Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. (1998a). *Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal*. Diario Oficial de la Federación, 3 de junio de 1998.

Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. (1998b). *Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público*. Diario Oficial de la Federación, 21 de septiembre de 1998.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2022). *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, 11 de marzo de 2022.

Secretaría de Salud. (2022). *Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua*. Diario Oficial de la Federación, 2 de mayo de 2022.

United Nations Human Settlements Programme. (2022). *World Cities Report 2022: Envisaging the future of cities*. UN-Habitat.

United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2015). *Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030*. United Nations.

United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2017). *The Sendai framework terminology on disaster risk reduction*. United Nations.

United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2020). *Ecosystem-based disaster risk reduction: Implementing nature-based solutions for resilience*. United Nations.

UN-Water. (2013). *Water security and the global water agenda: A UN-Water analytical brief*. United Nations University.

UNESCO World Water Assessment Programme. (2018). *The United Nations world water development report 2018: Nature-based solutions for water*. UNESCO.

UNESCO World Water Assessment Programme. (2024). *The United Nations world water development report 2024: Water for prosperity and peace*. UNESCO.

World Health Organization. (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater* (Vols. 1–4). WHO.

World Health Organization. (2017). *Potable reuse: Guidance for producing safe drinking-water*. WHO.

World Health Organization. (2022). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda*. WHO.

World Meteorological Organization. (2018). *Multi-hazard early warning systems: A checklist*. WMO.

Los títulos y ediciones del IPCC, la OMS, UNESCO, UN-Water, UNDRR y WMO fueron verificados en sus repositorios institucionales. https://www.who.int/publications/i/item/9789241512770

Documentación técnica e institucional consultada

AYESA México. (2012). *Estudio de alternativas del Acueducto Chapala–Guadalajara: Evaluación técnico-económica* [Informe técnico elaborado para el Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado].

Colegio de Ingenieros Civiles del Estado de Jalisco, A. C. (2023). *Modelo de Gestión Hídrica para Jalisco* [Documento técnico institucional].

Colegio de Ingenieros Civiles del Estado de Jalisco, A. C. (2023–2024). *Memorias técnicas de las once mesas de trabajo para la construcción del Modelo de Gestión Hídrica para Jalisco* [Documentación técnica institucional no publicada].

Colegio de Ingenieros Civiles del Estado de Jalisco, A. C. (2026). *Jornadas de Gestión Hídrica Metropolitana: Memoria técnica, conclusiones y acuerdos* [Documento técnico institucional no publicado].

Comisión Estatal del Agua de Jalisco. (2025). *Programa Estatal de Recarga de Acuíferos* [Documento técnico institucional].

Instituto Metropolitano de Planeación del Área Metropolitana de Guadalajara. (s. f.). *Información geográfica e instrumentos de planeación territorial y metropolitana utilizados para el análisis del Área Metropolitana de Guadalajara* [Bases cartográficas y documentos institucionales].

Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (2010). *Diagnóstico integral del sistema de agua potable del Área Metropolitana de Guadalajara* [Informe técnico institucional].

Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (2011). *Campaña de mediciones hidráulicas del Acueducto Chapala–Guadalajara* [Documento técnico interno].

Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (s. f.-a). *Cartografía de antigüedad de la red de agua potable del Área Metropolitana de Guadalajara* [Mapa técnico institucional].

Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (s. f.-b). *Cartografía de antigüedad de la red de alcantarillado sanitario del Área Metropolitana de Guadalajara* [Mapa técnico institucional].

Secretaría de Gestión Integral del Agua, Comisión Estatal del Agua de Jalisco, y Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (2026a). *Proyecto ejecutivo del Acueducto Sustituto Chapala–Guadalajara* [Documentación técnica institucional].

Secretaría de Gestión Integral del Agua, Comisión Estatal del Agua de Jalisco, y Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (2026b). *Proyecto de reconversión de la Planta Potabilizadora No. 1 Miravalle* [Documentación técnica institucional].

Secretaría de Gestión Integral del Agua, Comisión Estatal del Agua de Jalisco, y Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (2026c). *Evaluación institucional sobre seguridad y eficiencia energética, hídrica y financiera del SIAPA* [Documento técnico de trabajo].

Secretaría de Gestión Integral del Agua, Comisión Estatal del Agua de Jalisco, y Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (2026d). *Estudios y proyectos para el fortalecimiento del saneamiento del nororiente del Área Metropolitana de Guadalajara* [Documentación técnica institucional].

Secretaría de Gestión Integral del Agua, Comisión Estatal del Agua de Jalisco, y Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (2026e). *Información técnica sobre fuentes, conducción, plantas potabilizadoras, tanques, redes, saneamiento e infraestructura pluvial del Área Metropolitana de Guadalajara* [Bases de datos y documentación institucional].

Ramos T. Sergio. (2002). ***Recuperación de la capacidad de conducción en tuberías a presión*** [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México].

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2016). *[Estudios de preinversión para el diagnóstico y propuesta de solución de la problemática pluvial de la Zona Metropolitana de Guadalajara Jalisco]* [Informe técnico].

Vidrio S. Cuauhtémoc, Ferguson G. (2026) University of Saskatchewan. *[Predicción probabilística de inundaciones de diseño y peligros de inundación para planeación, diseño y formulación de políticas públicas en la Zona Metropolitana de Guadalajara]* [Documento técnico de trabajo].

I. GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS Y CONCEPTUALES

A

Acción de atención inmediata. Medida que puede iniciarse con la información disponible para reducir riesgos, recuperar capacidad, mejorar la operación o atender una restricción suficientemente documentada. No implica necesariamente la construcción de infraestructura.

Actuación estratégica. Intervención de mediano o largo plazo orientada a fortalecer una o varias capacidades estructurales del sistema hídrico. Puede comprender infraestructura, operación, gestión territorial, información, investigación o fortalecimiento institucional.

Adaptación al cambio climático. Proceso de ajuste de la infraestructura, la operación, el territorio y las instituciones frente a condiciones climáticas actuales o futuras, con el propósito de reducir daños, aprovechar oportunidades y mantener funciones esenciales.

Agenda de estudios. Conjunto organizado de diagnósticos, inspecciones, modelaciones, análisis y desarrollos de ingeniería necesarios para cerrar vacíos de información y aumentar la madurez técnica de las alternativas.

Agua cruda. Agua proveniente de una fuente superficial o subterránea que aún no ha recibido el tratamiento requerido para su uso previsto.

Agua no facturada. Diferencia entre el volumen de agua que ingresa a un sistema de distribución y el consumo autorizado facturado. Incluye pérdidas reales, pérdidas aparentes y consumos autorizados no facturados.

Agua potable. Agua que cumple las características de calidad establecidas para uso y consumo humano y que puede ser distribuida a la población con seguridad sanitaria.

Agua residual. Agua cuya calidad fue modificada por actividades domésticas, comerciales, industriales, de servicios o productivas y que requiere recolección, tratamiento o manejo adecuado antes de su descarga o aprovechamiento.

Agua residual tratada. Agua residual que ha sido sometida a procesos físicos, químicos o biológicos para reducir contaminantes y alcanzar una calidad determinada de descarga o aprovechamiento.

Agua tratada. Expresión general que puede referirse a agua potabilizada o a agua residual tratada. En el documento deberá precisarse el tipo de tratamiento para evitar ambigüedad.

Alcantarillado sanitario. Conjunto de tuberías, atarjeas, colectores, emisores, pozos de visita, cárcamos y estructuras destinadas a recolectar y conducir aguas residuales.

Almacenamiento. Capacidad para conservar temporalmente agua o escurrimientos con fines de regulación, continuidad, reserva operativa, control de caudales o aprovechamiento posterior.

Alternativa. Opción técnica, operativa, territorial, ambiental o institucional susceptible de atender una restricción y fortalecer una capacidad. Su formulación no implica selección ni ejecución.

Amenaza. Proceso, fenómeno o condición con potencial para causar daños a personas, infraestructura, servicios, actividades económicas o ecosistemas.

Análisis de alternativas. Proceso mediante el cual se comparan distintas opciones conforme a criterios técnicos, económicos, ambientales, sociales, territoriales, institucionales y de ciclo de vida.

Análisis de criticidad. Evaluación utilizada para ordenar activos, sistemas o restricciones conforme a la probabilidad o posibilidad de falla, su condición y las consecuencias que produciría la pérdida de su función.

Análisis de sensibilidad. Evaluación de la manera en que los resultados de un estudio o modelo cambian al modificar parámetros, supuestos, escenarios o condiciones de entrada.

Automatización. Aplicación de equipos, instrumentos, algoritmos y sistemas de control para ejecutar, regular o apoyar procesos con menor intervención manual y mayor oportunidad o precisión.

B

Balance de agua. Comparación sistemática entre los volúmenes que ingresan, se almacenan, utilizan, transfieren, facturan o pierden dentro de un sistema durante un periodo determinado.

Balance energético. Relación entre la energía consumida, las funciones desarrolladas, los caudales movilizados o tratados y las pérdidas o ineficiencias asociadas a un proceso.

Balance hídrico. Cuantificación de las entradas, salidas y cambios de almacenamiento de agua en una cuenca, fuente, acuífero o sistema definido.

Base de datos georreferenciada. Conjunto estructurado de información asociada con coordenadas o ubicaciones territoriales, que permite relacionar infraestructura, eventos, condiciones y variables espaciales.

Bases Técnicas. Documento que integra evidencia, diagnóstico, restricciones, capacidades y criterios metodológicos para orientar decisiones posteriores. No constituye por sí mismo una cartera de proyectos, un programa presupuestal ni una autorización de ejecución.

Biosólidos. Materiales orgánicos estabilizados obtenidos del tratamiento de lodos de aguas residuales que pueden ser aprovechados cuando cumplen las condiciones sanitarias, ambientales y técnicas aplicables.

Brecha de información. Dato, estudio, serie, inventario o conocimiento que no se encuentra disponible, actualizado, validado o integrado con el nivel necesario para sustentar una decisión.

C

Cadena de saneamiento. Secuencia integrada por generación, recolección, conducción, tratamiento, descarga y, cuando corresponda, aprovechamiento de las aguas residuales y sus subproductos.

Calibración de un modelo. Proceso de ajuste de parámetros para que los resultados simulados reproduzcan razonablemente las mediciones y eventos observados.

Calidad acorde con el uso. Principio según el cual el nivel de tratamiento y control de calidad debe corresponder con el uso final previsto y con los riesgos asociados.

Calidad del agua. Conjunto de características físicas, químicas, biológicas, radiológicas y organolépticas que determinan la aptitud del agua para un uso específico.

Capacidad adaptativa. Aptitud de un sistema o institución para ajustar su operación, infraestructura o decisiones frente a cambios, perturbaciones o nueva evidencia.

Capacidad disponible. Porción de la capacidad instalada o nominal que se encuentra en condiciones reales de entrar en operación, descontando equipos fuera de servicio, mantenimiento, restricciones de proceso u otras limitaciones.

Capacidad efectiva. Capacidad que un componente o sistema puede alcanzar realmente bajo las condiciones actuales de infraestructura, calidad, operación, energía, mantenimiento y entorno.

Capacidad instalada. Capacidad física total asociada con la infraestructura y los equipos existentes, independientemente de que se encuentre completamente disponible o utilizada.

Capacidad nominal. Capacidad declarada o de diseño de una instalación, equipo o proceso bajo condiciones específicas de funcionamiento.

Capacidad por fortalecer. Función técnica, operativa, territorial, ambiental o institucional que debe mejorarse para reducir una restricción y aumentar el desempeño del sistema.

Capacidad utilizada. Nivel de operación efectivamente registrado durante un periodo determinado respecto de la capacidad disponible o nominal.

Captación. Proceso e infraestructura mediante los cuales se obtiene agua de una fuente o se interceptan escurrimientos para su conducción, regulación, tratamiento o aprovechamiento.

Cárcamo. Estructura que recibe y almacena temporalmente agua para permitir su bombeo hacia otro nivel, conducción o instalación.

Catastro de infraestructura. Inventario organizado y georreferenciado de activos, que incluye localización, características, función, materiales, antigüedad, condición, intervenciones y relaciones con otros componentes.

Ciclo de vida de un activo. Conjunto de etapas que comprende planeación, diseño, construcción, operación, mantenimiento, rehabilitación, renovación y retiro o sustitución de un activo.

Conducción principal. Infraestructura que transporta caudales relevantes entre fuentes, plantas, tanques, redes, instalaciones de tratamiento o puntos de entrega.

Condición documentada. Situación sustentada mediante información, mediciones, registros, inspecciones, estudios o evidencia verificable.

Condición física. Estado material o estructural de un activo, incluyendo deterioro, corrosión, deformaciones, fisuras, desgaste y pérdida de integridad.

Condición funcional. Capacidad de un activo para cumplir la función requerida dentro del sistema, aun cuando su condición física no presente daños visibles.

Confiabilidad. Capacidad de un componente o sistema para desempeñar la función requerida durante un periodo y bajo condiciones determinadas.

Configuración hidráulica. Forma en que fuentes, conducciones, plantas, tanques, redes, válvulas y demás componentes se conectan y operan para transportar y regular el agua.

Consolidación de largo plazo. Etapa permanente orientada a sostener el desempeño, actualizar decisiones, renovar activos y adaptar el sistema a cambios territoriales, operativos y climáticos.

Consumo autorizado no facturado. Volumen utilizado legítimamente para fines operativos, públicos o de emergencia que no genera facturación.

Continuidad del servicio. Capacidad para proporcionar agua o mantener una función del sistema durante el tiempo previsto, con interrupciones mínimas y controladas.

Continuidad institucional. Capacidad para conservar políticas, información, estudios, equipos técnicos y procesos de seguimiento más allá de los cambios administrativos.

Control de pérdidas. Conjunto de medidas para identificar, reducir y prevenir pérdidas reales, aparentes y volúmenes no contabilizados.

Cooperación técnica. Intercambio de conocimiento, metodologías, experiencia o asistencia especializada entre instituciones, ciudades, países, universidades u organismos.

Corresponsabilidad. Distribución clara y coordinada de compromisos entre autoridades, operadores, sectores productivos, desarrolladores, usuarios y sociedad para alcanzar objetivos comunes.

Costo del ciclo de vida. Suma de los costos asociados con planeación, inversión, operación, energía, mantenimiento, rehabilitación, reposición y retiro de una alternativa o activo.

Cuenca. Territorio delimitado por divisorias topográficas dentro del cual los escurrimientos convergen hacia un cauce, cuerpo de agua o punto de salida común.

Cuenca urbana. Cuenca cuyo comportamiento hidrológico se encuentra modificado significativamente por urbanización, impermeabilización e infraestructura construida.

D

Demanda de agua. Volumen requerido para satisfacer usos domésticos, públicos, comerciales, industriales, ambientales u otros durante un periodo determinado.

Desempeño. Grado en que un activo, proceso, institución o sistema cumple sus objetivos y niveles de servicio.

Diagnóstico integrado. Evaluación que relaciona componentes, causas, efectos, interdependencias y vacíos de información para comprender el sistema en su conjunto.

Digitalización. Conversión, organización e integración de información y procesos mediante tecnologías digitales.

Disponibilidad hídrica. Cantidad de agua susceptible de utilizarse bajo determinadas condiciones físicas, legales, ambientales, temporales y de calidad.

Disponibilidad operativa. Proporción del tiempo en que un equipo o instalación se encuentra en condiciones de cumplir su función.

Distrito de medición. Zona hidráulicamente delimitada con entradas y salidas conocidas, medición suficiente y condiciones que permiten construir balances y analizar pérdidas.

Diversificación funcional de fuentes. Capacidad para utilizar diferentes fuentes o sistemas con funciones complementarias, reduciendo la dependencia de una única configuración.

Drenaje combinado. Sistema que recibe y conduce aguas residuales y escurrimientos pluviales mediante una misma red.

Drenaje pluvial. Infraestructura y procesos destinados a captar, regular, infiltrar, almacenar, conducir o descargar los escurrimientos generados por la lluvia.

E

Economía circular del agua. Enfoque orientado a reducir consumos, prolongar el uso del agua, recuperar recursos y reincorporar agua tratada, energía, nutrientes o materiales a ciclos productivos o ambientales seguros.

Eficiencia energética. Relación entre la energía utilizada y el servicio, caudal, carga hidráulica o proceso obtenido, procurando reducir consumos evitables sin afectar confiabilidad o calidad.

Eficiencia física. Capacidad para suministrar agua reduciendo pérdidas reales y utilizando adecuadamente la infraestructura disponible.

Eficiencia hidráulica. Desempeño del sistema para transportar, regular y distribuir agua con caudales y presiones adecuados y con pérdidas controladas.

Escenario. Representación coherente de condiciones posibles utilizada para evaluar el comportamiento futuro del sistema.

Escenario climático. Conjunto de condiciones plausibles sobre la evolución del clima utilizado para analizar riesgos, sensibilidad y adaptación.

Escurrimiento. Parte de la precipitación que circula sobre la superficie o mediante cauces y sistemas de drenaje.

Estación de bombeo. Instalación que utiliza equipos electromecánicos para elevar, transferir o regular el flujo de agua.

Estudio de factibilidad. Análisis detallado que verifica la viabilidad técnica, territorial, ambiental, social, económica, jurídica e institucional de una alternativa.

Estudio de prefactibilidad. Evaluación preliminar que compara opciones, identifica restricciones y determina si una alternativa justifica avanzar hacia estudios de mayor profundidad.

Evidencia técnica. Información derivada de estudios, mediciones, inspecciones, registros, modelos, análisis o experiencia documentada que permite sustentar una interpretación o decisión.

Exposición. Presencia de personas, bienes, infraestructura, actividades o ecosistemas en lugares que podrían verse afectados por una amenaza.

Efectos en cascada. Consecuencias sucesivas que se producen cuando la falla o afectación de un componente interrumpe o deteriora otros sistemas y servicios.

F

Factibilidad. Condición de una alternativa que ha demostrado viabilidad suficiente para avanzar hacia etapas posteriores de diseño, programación o decisión.

Flexibilidad operativa. Capacidad del sistema para modificar rutas, caudales, fuentes, niveles, sectores o modos de operación frente a variaciones o contingencias.

Fuente de abastecimiento. Origen superficial, subterráneo, pluvial, tratado u otro del cual se obtiene agua para atender una demanda.

Fuente complementaria. Fuente que aporta capacidad adicional, respaldo, flexibilidad o atención territorial sin constituir necesariamente la fuente principal.

G

Gestión adaptativa. Proceso de planeación y operación que incorpora monitoreo, aprendizaje, revisión periódica y ajuste de decisiones conforme cambian las condiciones o se genera nueva evidencia.

Gestión de activos. Enfoque sistemático para obtener valor de la infraestructura durante su ciclo de vida mediante información sobre condición, desempeño, riesgo, costo y función.

Gestión de cuencas. Planeación y coordinación de medidas conforme al funcionamiento integral de una cuenca, considerando relaciones entre zonas aguas arriba y aguas abajo.

Gestión de la demanda. Conjunto de medidas orientadas a reducir consumos evitables, mejorar patrones de uso y utilizar el agua con mayor eficiencia.

Gestión del conocimiento. Procesos mediante los cuales una institución genera, organiza, conserva, comparte y aplica información y experiencia.

Gestión del riesgo. Aplicación coordinada de políticas, medidas e instrumentos para prevenir nuevos riesgos, reducir los existentes, prepararse y responder ante eventos.

Gestión integral de los recursos hídricos. Proceso coordinado de manejo del agua, el territorio y los recursos relacionados, con el propósito de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer los ecosistemas.

Gobernanza del agua. Conjunto de reglas, instituciones, competencias, procesos y relaciones mediante los cuales se toman, ejecutan y evalúan decisiones sobre el agua.

Gobierno de datos. Reglas y responsabilidades para generar, identificar, validar, compartir, proteger, conservar y utilizar información.

H

Hoja de ruta. Secuencia orientadora que organiza acciones, estudios, decisiones y mecanismos de seguimiento conforme a distintos horizontes y niveles de madurez.

I

Impermeabilización del territorio. Incremento de superficies que reducen la infiltración y almacenamiento del agua, como pavimentos, techos y construcciones.

Indicador. Variable o relación cuantificable utilizada para evaluar condición, desempeño, avance o resultado.

Información interoperable. Información que puede intercambiarse, integrarse e interpretarse entre sistemas, áreas o instituciones bajo criterios compatibles.

Infraestructura crítica. Activo o sistema cuya interrupción puede producir consecuencias graves sobre población, salud, economía, ambiente o servicios esenciales.

Infraestructura estratégica. Infraestructura relevante para la continuidad, seguridad, flexibilidad o desarrollo de largo plazo del sistema.

Infraestructura gris. Obras construidas principalmente con materiales convencionales, como tuberías, colectores, canales, vasos, estaciones de bombeo y plantas.

Infraestructura híbrida. Configuración que combina infraestructura convencional con soluciones basadas en la naturaleza, regulación territorial u otras medidas.

Infraestructura pluvial. Conjunto de obras y elementos destinados a captar, regular, infiltrar, almacenar, conducir, bombear o descargar escurrimientos.

Infraestructura verde-azul. Red de espacios naturales, seminaturales o diseñados que utiliza vegetación, suelos y agua para gestionar escurrimientos y generar beneficios ambientales y urbanos.

Ingeniería básica. Etapa que define los criterios, procesos, capacidades, configuración y componentes principales de una alternativa con detalle suficiente para sustentar su desarrollo posterior.

Infiltración. Ingreso del agua al suelo o subsuelo. Su viabilidad depende de permeabilidad, geología, calidad del agua, nivel freático, estabilidad y usos del territorio.

Infiltración en alcantarillado. Ingreso no deseado de agua subterránea o del suelo a tuberías sanitarias mediante fisuras, juntas, pozos o defectos estructurales.

Información pendiente. Información que requiere generarse, actualizarse, verificarse o integrarse antes de adoptar una decisión con suficiente certidumbre.

Instrumentación. Conjunto de sensores, medidores, transmisores y equipos utilizados para registrar o controlar variables de un proceso.

Integración hidráulica. Capacidad para conectar y operar coordinadamente fuentes, conducciones, plantas, tanques, redes u otros componentes.

Interconexión. Enlace físico y operativo entre sistemas, sectores o componentes que permite transferir caudales o proporcionar respaldo.

Interdependencia. Relación en la que el desempeño de un componente depende o afecta el funcionamiento de otros.

Intermitencia. Condición en la que el servicio se proporciona sólo durante determinados periodos y la red alterna entre estados presurizados y despresurizados.

Interoperabilidad. Capacidad de distintos equipos, plataformas, bases de datos o instituciones para intercambiar y utilizar información de manera compatible.

L

Línea base. Condición inicial documentada utilizada como referencia para comparar cambios y evaluar resultados.

Línea estratégica de actuación. Agrupación de acciones y alternativas orientadas a un objetivo o capacidad común, sin constituir todavía una programación definitiva.

Lodos. Residuos sólidos o semisólidos generados durante procesos de potabilización o tratamiento de aguas residuales.

M

Macromedición. Medición de caudales o volúmenes en fuentes, plantas, conducciones, tanques, sectores o puntos principales del sistema.

Madurez digital. Nivel de desarrollo de una institución respecto de procesos, datos, automatización, interoperabilidad, personal, seguridad y uso de tecnologías digitales.

Madurez técnica. Grado de desarrollo de una alternativa conforme a la calidad de su información y al avance de sus estudios, desde una idea conceptual hasta un proyecto ejecutivo.

Mantenimiento correctivo. Intervención realizada después de una falla o pérdida de función para restablecer el servicio.

Mantenimiento preventivo. Intervención programada para reducir la probabilidad de falla y conservar la condición o desempeño de los activos.

Mantenimiento predictivo o basado en condición. Intervención definida a partir de mediciones, inspecciones o indicadores que permiten anticipar el deterioro o la falla.

Matriz de alternativas. Herramienta que relaciona restricciones, capacidades, opciones, criterios de evaluación, madurez y resultados esperados.

Memoria técnica. Conjunto organizado de estudios, decisiones, modelos, datos, experiencias y criterios que permite conservar y recuperar el conocimiento institucional.

Micromedición. Medición del consumo de agua en tomas, usuarios o unidades de consumo.

Modelación hidráulica. Representación matemática del movimiento del agua a través de tuberías, canales, cauces, estructuras y superficies.

Modelación hidrológica. Representación matemática de los procesos mediante los cuales la precipitación se transforma en infiltración, almacenamiento y escurrimiento.

Monitoreo. Observación y registro sistemático de variables, condiciones o indicadores durante un periodo.

Monitoreo hidrometeorológico. Medición sistemática de precipitación, niveles, caudales y otras variables meteorológicas e hidrológicas.

N

Nueva capacidad. Infraestructura, equipamiento, función o mecanismo adicional requerido cuando la capacidad existente resulta insuficiente aun después de considerar operación, mantenimiento y rehabilitación.

Nivel de servicio. Condición o estándar con el que se espera proporcionar un servicio, considerando continuidad, presión, calidad, oportunidad, cobertura o confiabilidad.

O

Operación integrada. Coordinación de distintos componentes e instalaciones considerando sus interdependencias y efectos sobre el sistema completo.

P

Participación multiactor. Intervención organizada de instituciones públicas, operadores, academia, especialistas, sectores productivos y sociedad civil en procesos de diagnóstico, contraste, evaluación y seguimiento.

Pérdidas aparentes. Volúmenes consumidos pero no registrados correctamente debido a errores de medición, información comercial, facturación, consumos no autorizados u otras inconsistencias.

Pérdidas reales. Volúmenes que se escapan físicamente de tuberías, conexiones, válvulas, tanques y demás componentes antes de llegar al punto de uso autorizado.

Periodo de retorno. Medida estadística que expresa el intervalo promedio con el que un evento de determinada magnitud puede igualarse o superarse. No indica que el evento ocurra necesariamente una sola vez dentro de dicho periodo.

Planeación por escenarios. Proceso de evaluación que considera diferentes condiciones futuras posibles para seleccionar alternativas robustas y adaptables.

Planeación sistémica. Enfoque que analiza el sistema completo, sus componentes, relaciones, interdependencias y consecuencias de las decisiones.

Planta potabilizadora. Instalación en la que el agua cruda es sometida a procesos para alcanzar calidad apta para uso y consumo humano.

Planta de tratamiento de aguas residuales. Instalación en la que las aguas residuales son sometidas a procesos para reducir contaminantes y cumplir objetivos de descarga o aprovechamiento.

Prefactibilidad. Nivel preliminar de evaluación que permite descartar opciones no viables y seleccionar aquellas que justifican estudios más detallados.

Presión de servicio. Presión hidráulica disponible en la red para proporcionar el suministro bajo las condiciones previstas.

Priorización. Proceso mediante el cual se ordenan necesidades, estudios o alternativas conforme a urgencia, criticidad, contribución, madurez, viabilidad y otros criterios.

Programación plurianual. Organización de acciones e inversiones a lo largo de varios años conforme a prioridades, recursos, dependencias y niveles de madurez.

Proyecto ejecutivo. Conjunto completo de planos, memorias, especificaciones, estudios, cantidades y documentos necesarios para construir o implementar una intervención, sujeto a actualización y validación antes de su ejecución.

Protección de fuentes. Medidas para conservar la cantidad, calidad, entorno y sostenibilidad de las fuentes de abastecimiento.

R

Recarga de acuíferos. Ingreso de agua a una formación geológica capaz de almacenar y transmitir agua subterránea.

Recarga gestionada de acuíferos. Proceso planificado para favorecer la infiltración o inyección de agua bajo controles técnicos, sanitarios, ambientales y de monitoreo.

Reciclaje de agua. Tratamiento y reincorporación del agua a un ciclo controlado de uso, generalmente con seguimiento de calidad, infraestructura y destino. Para estas Bases deberá distinguirse del reúso conforme al contexto específico.

Recuperación de capacidad. Restablecimiento del desempeño disponible mediante mantenimiento, reparación, limpieza, rehabilitación, ajustes operativos o eliminación de restricciones.

Recuperación de recursos. Obtención de agua, energía, nutrientes, biosólidos u otros materiales aprovechables a partir de procesos de tratamiento.

Redundancia. Disponibilidad de componentes, rutas, equipos o funciones alternativas que permiten mantener el servicio ante fallas o mantenimiento.

Redundancia funcional. Capacidad de mantener una función mediante otra configuración o componente, sin que necesariamente exista una duplicación idéntica de infraestructura.

Regulación de escurrimientos. Almacenamiento y liberación controlada del agua para reducir o retrasar los caudales máximos.

Rehabilitación. Intervención que restablece o mejora la condición y el desempeño de un activo sin sustituirlo completamente.

Renovación. Intervención programada para recuperar o actualizar la capacidad de un activo mediante rehabilitación profunda, reposición parcial, sustitución o reconfiguración.

Resiliencia. Capacidad del sistema para anticipar, resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de perturbaciones, manteniendo o restableciendo sus funciones esenciales.

Restricción estructural. Condición persistente o recurrente que limita el desempeño del sistema y que no puede explicarse únicamente por un evento aislado.

Retención. Almacenamiento temporal o permanente del agua con el propósito de reducir escurrimientos, favorecer infiltración o permitir aprovechamiento.

Reúso de agua. Utilización posterior del agua residual tratada para un uso benéfico compatible con su calidad y con los controles sanitarios, ambientales y operativos requeridos.

Riesgo. Posibilidad de consecuencias adversas derivada de la interacción entre una amenaza, la exposición, la vulnerabilidad y las capacidades existentes. En gestión de activos también puede relacionarse con la probabilidad y consecuencia de una falla.

Riesgo sistémico. Riesgo que se transmite entre componentes, territorios o servicios y puede producir efectos en cascada.

Robustez. Capacidad de una alternativa o sistema para mantener un desempeño aceptable bajo diferentes escenarios e incertidumbres sin requerir modificaciones sustanciales.

Ruta gradual de implementación. Organización progresiva de acciones inmediatas, estudios, actuaciones estratégicas y mecanismos de consolidación y actualización.

S

Saneamiento. Conjunto de procesos e infraestructura destinados a recolectar, conducir, tratar y disponer o aprovechar de manera segura las aguas residuales y sus subproductos.

Saneamiento efectivo. Condición en la que las aguas residuales son realmente recolectadas, conducidas y tratadas con el desempeño requerido, y no solamente cubiertas por capacidad nominal.

Sectorización hidráulica. Organización de una red en sectores controlables y medibles para mejorar balances, presiones, detección de pérdidas y operación.

Seguridad hídrica. Capacidad de la población y de las instituciones para garantizar acceso sostenible a agua suficiente y de calidad aceptable, proteger los ecosistemas y reducir los riesgos asociados con escasez, contaminación, inundaciones y otros eventos relacionados con el agua.

Separación física sanitaria y pluvial. Existencia de redes e infraestructura independientes para aguas residuales y escurrimientos pluviales.

Separación funcional sanitaria y pluvial. Reducción de aportaciones indebidas entre ambos sistemas mediante corrección de conexiones, control de infiltraciones, rehabilitación y mejora operativa, aun cuando no exista separación física completa.

Servicios esenciales. Funciones indispensables para la vida, la salud, la seguridad y la operación urbana, como agua, saneamiento, energía, salud, movilidad y comunicaciones.

Sistema de alerta temprana. Conjunto integrado de conocimiento del riesgo, monitoreo, pronóstico, comunicación y preparación que permite actuar antes de que un evento produzca sus mayores consecuencias.

Sistema de soporte a decisiones. Conjunto de datos, modelos, herramientas y procedimientos que ayuda a analizar escenarios y adoptar decisiones técnicas u operativas.

Solución basada en la naturaleza. Medida que conserva, restaura o utiliza procesos naturales para atender un desafío y generar beneficios ambientales, sociales o económicos adicionales.

Solución escalable. Alternativa que puede ampliarse o ajustarse progresivamente conforme cambian las necesidades o se dispone de nueva información.

Solución modular. Alternativa integrada por unidades o etapas que pueden implementarse, ampliarse o reemplazarse de manera progresiva.

Subcuenca. Unidad territorial dentro de una cuenca mayor cuyos escurrimientos convergen hacia un punto común intermedio.

Sostenibilidad financiera. Capacidad para cubrir de manera continua los costos de operación, mantenimiento, reposición y actualización de un servicio o infraestructura.

T

Telemetría. Medición y transmisión remota de variables operativas como caudal, presión, nivel, calidad, energía o estado de equipos.

Trazabilidad. Capacidad para identificar la relación entre evidencia, diagnóstico, restricción, alternativa, decisión, implementación y resultado.

Transformación digital. Proceso institucional mediante el cual la tecnología, los datos, las capacidades humanas y los procesos se integran para mejorar el desempeño y la toma de decisiones.

Tratamiento. Conjunto de procesos físicos, químicos o biológicos aplicados al agua para modificar su calidad conforme a un objetivo determinado.

U

Umbral de alerta. Valor o combinación de condiciones que activa un nivel de vigilancia, aviso o respuesta conforme a impactos potenciales.

Uso público urbano. Uso del agua destinado a centros de población y asentamientos humanos, conforme al marco jurídico aplicable.

V

Validación. Proceso mediante el cual se verifica que un dato, modelo, estudio o resultado representa razonablemente las condiciones que pretende describir.

Vaso regulador. Estructura o espacio destinado a almacenar temporalmente escurrimientos y liberar el agua de forma controlada.

Vida de servicio. Periodo durante el cual un activo cumple la función requerida bajo condiciones aceptables de desempeño y mantenimiento.

Visión técnica compartida. Comprensión común del sistema construida mediante evidencia, experiencia operativa, participación, análisis técnico y contraste de distintas perspectivas.

Vulnerabilidad. Condiciones físicas, sociales, económicas, ambientales o institucionales que aumentan la susceptibilidad a sufrir daños ante una amenaza.

II. Siglas, acrónimos y abreviaturas

AMG. Área Metropolitana de Guadalajara.

AWWA. American Water Works Association.

CEA Jalisco. Comisión Estatal del Agua de Jalisco.

CICEJ. Colegio de Ingenieros Civiles del Estado de Jalisco, A. C.

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua.

CONAPO. Consejo Nacional de Población.

DOF. Diario Oficial de la Federación.

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, por sus siglas en inglés.

GIRH. Gestión Integrada o Gestión Integral de los Recursos Hídricos. Para este documento se recomienda utilizar de manera uniforme - Gestión Integral de los Recursos Hídricos.

GWP. Global Water Partnership.

IMEPLAN. Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara.

IMTA. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

IPCC Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, por sus siglas en inglés.

ISO. Organización Internacional de Normalización, por sus siglas en inglés.

IWA. International Water Association.

MAPAS. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la Comisión Nacional del Agua.

NOM. Norma Oficial Mexicana.

OCDE. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.

OMS. Organización Mundial de la Salud.

ONU. Organización de las Naciones Unidas.

OMM. Organización Meteorológica Mundial.

PP. Planta potabilizadora.

PP1. Planta Potabilizadora No. 1 Miravalle.

PP3 Planta Potabilizadora No. 3 San Gaspar.

PP5. Planta Potabilizadora No. 5.

PTAR. Planta de tratamiento de aguas residuales.

SbN. Soluciones basadas en la naturaleza.

SCADA. Sistema de supervisión, control y adquisición de datos, por sus siglas en inglés.

SEMARNAP. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Denominación histórica utilizada en normas publicadas antes de la creación de la SEMARNAT.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SGIA. Secretaría de Gestión Integral del Agua del Gobierno del Estado de Jalisco.

SIAPA. Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado.

SIG. Sistema de información geográfica.

UNDRR. Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, por sus siglas en inglés.

UNESCO. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

UNESCO-WWAP. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO, por sus siglas en inglés.

UN-Water. Mecanismo de coordinación de las Naciones Unidas para asuntos relacionados con agua y saneamiento.

WMO. World Meteorological Organization. En español, Organización Meteorológica Mundial.

WWAP. World Water Assessment Programme.

ZMG. Zona Metropolitana de Guadalajara. En el cuerpo del documento se recomienda utilizar preferentemente **AMG**. La sigla ZMG puede conservarse en títulos históricos, nombres oficiales de estudios o citas textuales.

III. Unidades y símbolos de uso frecuente

ha. Hectárea.

km. Kilómetro.

km². Kilómetro cuadrado.

L/s. Litros por segundo.

m. Metro.

m³. Metro cúbico.

m³/s. Metros cúbicos por segundo.

mg/L. Miligramos por litro.

Mm³. Millones de metros cúbicos.

kWh. Kilowatt-hora.

kWh/m³. Kilowatt-hora por metro cúbico; indicador utilizado para relacionar energía y volumen.

%. Porcentaje.

Anexo A. Evolución de los estudios técnicos que sustentan la estrategia hídrica del Área Metropolitana de Guadalajara

ANEXO A

Evolución de los estudios técnicos que sustentan la estrategia hídrica del Área Metropolitana de Guadalajara

Año	Institución	Documento	Principal aportación
2002	Instituto de Ingeniería, UNAM	Diagnóstico y mantenimiento del Acueducto Chapala–Guadalajara	Diagnóstico estructural y pérdida de capacidad hidráulica
2010	SIAPA	Diagnóstico Integral del Sistema de Agua Potable	Priorización de la modernización del sistema de conducción
2011	SIAPA	Campaña de mediciones hidráulicas	Verificación del comportamiento operativo del acueducto
2012	AYESA México	Estudio técnico-económico de alternativas	Selección de la alternativa técnica para el nuevo acueducto
2023	CICEJ	Modelo de Gestión Hídrica para Jalisco	Construcción del modelo estatal y definición de 82 acciones estratégicas
2023–2024	CICEJ, academia, gobierno y organismos operadores	Once mesas técnicas de trabajo	Construcción colectiva y priorización de acciones
2023–2025	Países Bajos, Japón, Corea del Sur, Singapur, Malasia, China, Reino Unido, Italia	Cooperación técnica internacional	Incorporación de experiencias y modelos exitosos de gestión hídrica
2025	IMTA	Gestión integral del riesgo por inundaciones	Evolución del modelo de gestión pluvial
2025	Universidad de Saskatchewan	Modelación probabilística	Inteligencia territorial para la gestión adaptativa del riesgo
2025	CEA Jalisco	Programa Estatal de Recarga de Acuíferos	Recuperación del funcionamiento hidrológico del territorio
2026	SGIA – CEA – SIAPA	Bases Técnicas para la Seguridad Hídrica del AMG	Desarrollo metodológico y aplicación territorial del Modelo de Gestión Hídrica para Jalisco

JALISCO

GOBIERNO DEL ESTADO