


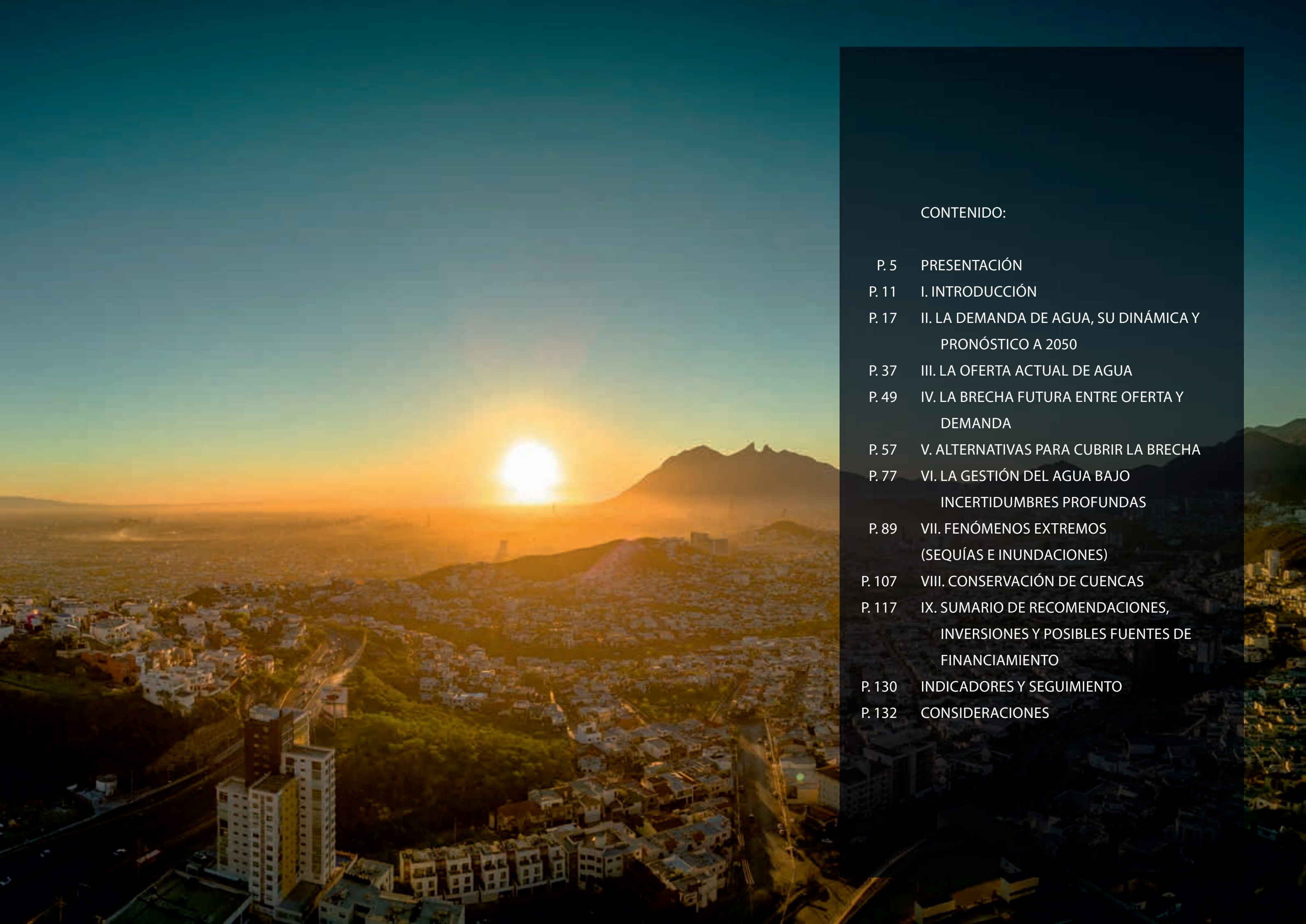


FONDO DE AGUA
METROPOLITANO
DE MONTERREY

PLAN HÍDRICO NUEVO LEÓN 2050



EL FONDO DE AGUA
METROPOLITANO DE
MONTERREY TIENE
COMO OBJETIVO
COLABORAR
PARA ALCANZAR
Y MANTENER LA
SEGURIDAD HÍDRICA
DE MONTERREY.



CONTENIDO:

| | |
|--------|--|
| P. 5 | PRESENTACIÓN |
| P. 11 | I. INTRODUCCIÓN |
| P. 17 | II. LA DEMANDA DE AGUA, SU DINÁMICA Y PRONÓSTICO A 2050 |
| P. 37 | III. LA OFERTA ACTUAL DE AGUA |
| P. 49 | IV. LA BRECHA FUTURA ENTRE OFERTA Y DEMANDA |
| P. 57 | V. ALTERNATIVAS PARA CUBRIR LA BRECHA |
| P. 77 | VI. LA GESTIÓN DEL AGUA BAJO INCERTIDUMBRES PROFUNDAS |
| P. 89 | VII. FENÓMENOS EXTREMOS (SEQUÍAS E INUNDACIONES) |
| P. 107 | VIII. CONSERVACIÓN DE CUENCAS |
| P. 117 | IX. SUMARIO DE RECOMENDACIONES, INVERSIONES Y POSIBLES FUENTES DE FINANCIAMIENTO |
| P. 130 | INDICADORES Y SEGUIMIENTO |
| P. 132 | CONSIDERACIONES |

ESTAMOS ORGULLOSOS
DE PRESENTAR EL PLAN
HÍDRICO NUEVO LEÓN
2050 EL CUAL TIENE
TODOS ELEMENTOS PARA
SER UN MECANISMO DE
PLANEACIÓN HÍDRICA
OFICIAL.

PRESENTACIÓN

En enero de 2016 el Gobernador del Estado de Nuevo León, Jaime Rodríguez Calderón, pidió nuestra opinión sobre la situación del abasto de agua potable para el Área Metropolitana de Monterrey (AMM), y la asignación que tiene de 15 m³/s para extraer agua del río Pánuco. Nuestra respuesta fue que el Gobierno del Estado debería abordar el tema desde una perspectiva de seguridad hídrica, por lo que habría que analizar temas críticos, tales como: la gestión de la demanda; el uso del agua en todos los sectores, especialmente en la agricultura; la mitigación de riesgos por inundaciones y sequías; la protección de las cuencas hidrológicas; entre otros. Lo anterior podría lograrse mediante el desarrollo de un plan hídrico integral con visión de largo plazo.

El Gobernador estuvo de acuerdo con nuestra propuesta, y solicitó que el Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey (FAMM) y el Consejo Nuevo León (CONL) desarrollaran dicho plan. A partir de entonces el FAMM se ha dedicado a conformar equipos de trabajo, recopilar información, revisar estudios ya realizados, investigar mejores prácticas y experiencias internacionales, realizar análisis con herramientas robustas, escuchar opiniones de actores clave, realizar talleres con expertos, etc.

Hemos utilizado metodologías que permiten tomar decisiones importantes ante escenarios de alta incertidumbre (como lo pueden ser un cambio significativo en los patrones de lluvias,

aumentos inesperados de la demanda de agua, entre otros), por lo cual, los hallazgos y el plan de acción que se recomiendan son flexibles. Se deberá hacer de forma periódica una revisión de los modelos, las alternativas de abasto, el costo de las mismas, etc. En este contexto, parece pertinente el establecimiento de mecanismos formales que definan la forma y periodos en los que se revisará y actualizará el Plan Hídrico Nuevo León 2050.

Por otro lado, al desarrollar este plan nos propusimos que fuera transparente, con metodologías de análisis de vanguardia, basado en ciencia, participativo y adaptativo. Estamos convencidos de haber logrado nuestros propósitos, y creado un legado para nuestra ciudad y estado. Asimismo, es importante hacer notar que este plan está alineado al Plan Estratégico para el Estado de Nuevo León 2030, en el apartado de desarrollo sustentable.

Estamos orgullosos de presentar el Plan Hídrico Nuevo León 2050 el cual tiene todos elementos para ser un mecanismo de planeación hídrica oficial; evitar que cada nueva administración parta de cero; fomentar la planeación de largo plazo y esfuerzos continuos para aumentar la eficiencia y resiliencia del operador de agua; y ser una guía que en el corto y largo plazo ayude a Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM), y al gobierno del Estado a tomar decisiones robustas y a alcanzar la seguridad hídrica de Nuevo León.

Eugenio Clariond Reyes

Alfonso Garza Garza

EL PLAN HÍDRICO N.L. 2050 DEBE DE SER UN PROCESO DE ANÁLISIS Y REVISIÓN CONTINUO, CUYO CONTENIDO SE ENRIQUEZCA Y SE ADAPTE DE FORMA PERIÓDICA A LAS NUEVAS REALIDADES Y CIRCUNSTANCIAS.

El presente documento se basa en los resultados de diversos estudios realizados durante 2016 y 2017. Para revisar los detalles de los análisis, se citan los documentos y se presentan las ligas a la página web del Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey, en los que podrán acceder y descargar dichos archivos.

Para la elaboración del Plan se trabajó con universidades, centros de investigación, empresas de consultoría y consultores independientes. Asimismo, se han realizado revisiones con especialistas nacionales e internacionales con el objetivo de asegurar la calidad de las modelaciones, estimaciones, entregables, etc.

Por otro lado, algunos de los temas fueron abordados con mayor profundidad que otros, debido a la existencia y disponibilidad de la información. En este sentido, algunos de los aspectos se presentan como una primera aproximación.

El desarrollo de este Plan contó con múltiples retos. Uno de ellos fue el contar con poco tiempo para dar una opinión basada en datos, análisis y ciencia sobre la necesidad de seguir adelante con el proyecto del Pánuco o no; tuvimos cuatro meses para ello. Una vez presentada nuestra recomendación y primeros análisis, el desafío fue extender el alcance de los estudios y trabajar de forma simultánea en múltiples temas relacionados con la gestión del agua.

Para cumplir con la transparencia del proceso lanzamos la página web del Plan (www.planhidrico.nl.mx); realizamos sesiones públicas de revisión de resultados, la mayoría de las cuales fueron grabadas y subidas a un canal de Youtube; y atendimos las peticiones de información que nos hicieron los interesados y grupos de opinión, entre otros.

El Plan Hídrico N.L. 2050 debe de ser un proceso de análisis y revisión continuo, cuyo contenido se enriquezca y se adapte de forma periódica a las nuevas realidades y circunstancias. Algunos temas deberán de ser abordados con mayor profundidad en las actualizaciones que se realicen al documento.

Por otro lado, queremos agradecer a SADM y CONAGUA por la apertura que tuvieron al compartir la información solicitada, y su participación en múltiples talleres, juntas y foros realizados en el marco del desarrollo del Plan Hídrico N.L. 2050. Del mismo modo, agradecemos la dedicación y esfuerzo de los investigadores y consultores que participaron en el desarrollo de este documento.

Por último, es importante agradecer y reconocer la participación de múltiples actores de la academia y de la sociedad civil que durante años han estado al pendiente del tema de la gestión del agua, han formado parte de los talleres y juntas a los que se han convocado sin recompensa más que aportar su tiempo, conocimiento y esfuerzo para el bien de Nuevo León.



EL PLAN HÍDRICO N.L. 2050
HA SIDO COORDINADO
POR EL FONDO DE
AGUA METROPOLITANO
DE MONTERREY A.C.
CON EL APOYO DEL
CONSEJO NUEVO LEÓN
Y SERVICIOS DE AGUA Y
DRENAJE DE MONTERREY;
Y HA INVOLUCRADO
A ESPECIALISTAS DE
DIVERSAS INSTITUCIONES
CIENTÍFICAS Y
ACADÉMICAS NACIONALES
E INTERNACIONALES.

I. INTRODUCCIÓN

El estado de Nuevo León, perteneciente a la República Mexicana, tiene una superficie de 64,924 km² (3.27% de la superficie nacional) y 5,119,504 habitantes. El 87.4% de dicha población reside en los 13 municipios que forman el AMM (SE-DESOL, 2012). A pesar de localizarse en un entorno de relativa escasez hídrica, en Nuevo León el 95.3% de las viviendas disponen de agua de la red pública, mientras que 95.7%, de drenaje (INEGI, 2017b); indicadores superiores a la media nacional. En Nuevo León el agua es provista de dos formas distintas: a través de SADM, o de forma autoabastecida mediante concesiones otorgadas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

SADM es una institución pública descentralizada del Gobierno del Estado, único organismo operador de agua en Nuevo León. Fue fundado formalmente en 1956 para prestar los servicios de agua y saneamiento en el AMM, y en 1995 expandió su operación a todo el Estado. SADM abastece el sector residencial, comercial, industrial y público, aunque éstos pueden abastecerse de forma simultánea con concesiones particulares de agua subterránea. El uso del agua para actividades agrícolas y pecuarias escapa del alcance del operador de agua y es atendida directamente por la CONAGUA.

Por otro lado, además de los servicios de agua potable y saneamiento, las contingencias asociadas con la ocurrencia de fenómenos extremos como inundaciones y sequías son de gran relevancia en la región. Por ello, la gestión del agua en el Estado requiere con urgencia enmarcarse en una perspectiva de gestión del riesgo, considerando la variabilidad e incertidumbre de factores relevantes.

Dada la importancia económica del AMM, y de Nuevo León en general, resulta no sólo necesario, sino obligatorio que se disponga de un instrumento de planeación hídrica en el ámbito estatal. Lo anterior acentuado por el hecho de que su ubicación geográfica se traduce en una serie de desafíos de origen natural.

Por un lado, la situación política es uno de los grandes temas. La importancia del estado en el contexto de la cuenca Río Bravo, y de ésta en el tratado sobre límite y aguas con Estados Unidos, es innegable. Por otro lado, la fisiografía del lugar hace vulnerable al AMM a inundaciones repentinas. El clima semiárido, con una baja disponibilidad natural de recursos hídricos; y finalmente el crecimiento demográfico, motivada por una dinámica economía, hacen al estado y al AMM un polo de atracción para inmigrantes tanto nacionales como extranjeros. Sólo en el periodo 2000 a 2010, se estima que un poco más de 230,000 personas arribaron al estado, principalmente de San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz (Aguilar et al, 2015).

ESTRATEGIA GENERAL DEL EJERCICIO DE PLANEACIÓN

El Plan Hídrico Nuevo León 2050 ha sido coordinado por el Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey y ha involucrado a especialistas de diversas instituciones científicas y académicas, entre los que se encuentran el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), RAND Corporation, consultores nacionales, entre otros. Además, se alimentó tanto de la participación de los principales actores gubernamentales (CONAGUA, el Gobierno del Estado mediante la Secretaría de Desarrollo Sustentable y SADM) como de actores y organizaciones de la sociedad civil, en un ambiente abierto y participativo.

Con la colaboración del Organismo de Cuenca Río Bravo (OCRB), se buscó el alineamiento de las acciones propuestas con los instrumentos que en esta materia se disponen a nivel federal, como los son el Programa Nacional Hídrico 2014-2018 y el Plan Nacional de Desarrollo 2012-2018. Ahora bien, la visión que se plantea en el estado en términos hídricos es “alcanzar y mantener la seguridad hídrica en el mediano y largo plazo”. Para ello, es conveniente establecer la definición de seguridad hídrica que se utiliza en este documento.

Seguridad hídrica es la “capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el sostenimiento de los medios de vida, el bienestar humano y el desarrollo socio-económico, para garantizar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con el agua, y para la conservación de los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política” (United Nations Water, 2013).

En este sentido, era fundamental llevar a cabo un análisis que permitiera establecer la oferta sostenible actual de agua, realizar pronósticos robustos de la demanda de agua, establecer una planeación de la expansión de infraestructura para incrementar el abasto de agua potable a través del tiempo, garantizando el nivel de confianza del sistema de distribución de agua, tanto para el ámbito urbano, como para el agrícola, pecuario, industrial, comercial, y residencial; además de analizar el estado de conservación de las cuencas, así como los fenómenos extremos, tanto para el caso de lluvias extraordinarias, como para las sequías prolongadas.

La intención del presente documento es establecer un marco de planeación que permita establecer acciones concretas en el corto, mediano y largo plazo para alcanzar y mantener la seguridad hídrica del estado.

HORIZONTE DE PLANEACIÓN

Contrariamente a los instrumentos de planeación que en materia hídrica promulga el Gobierno Federal, los cuales se plantean con horizontes sexenales, la característica distintiva de este ejercicio es la proyección que va más allá de ese lapso, alcanzando en un horizonte al año 2050. El análisis de las brechas a cubrir y las acciones requeridas para tal fin se establecen en diferentes plazos hasta cubrir la primera mitad del siglo XXI.

Es importante considerar este horizonte de planeación si se busca garantizar la continuidad de políticas públicas responsables y enfocadas a la seguridad hídrica del estado, sin depender de la perspectiva y visión de una administración pública, de agendas políticas, y de cambios de gobiernos. Tener un camino a seguir claro y consensuado, basado en datos, análisis, ciencia, es fundamental si se aspira alcanzar la seguridad hídrica en un ambiente de alta incertidumbre.

ÉNFASIS DEL EJERCICIO

Dada la importancia del AMM en el contexto estatal, uno de los apartados más estudiados es el abastecimiento futuro de la misma. La determinación de la oferta de agua de las fuentes actuales y la demanda del AMM hacia el futuro se han abordado con sólidas bases técnicas. La búsqueda no de un proyecto particular, sino de una cartera de proyectos y acciones que permita garantizar que dicho balance entre oferta y demanda se mantenga continuamente hasta 2050, se ha desarrollado bajo la consideración de variabilidad natural e incertidumbre en los años por venir.

Es importante realzar el carácter técnico y el rigor que se ha puesto en este ejercicio. Ningún ejercicio de planeación a nivel estatal se ha creado sobre la base de tantas investigaciones desarrolladas para el mismo fin. Esto establece un precedente en los estudios fundamentales para la implementación de instrumentos de gestión y política hídrica, no sólo en el ámbito estatal, sino con un alcance nacional.

CONTENIDO Y ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

El documento se ha estructurado en capítulos. El capítulo 2 aborda el tema de la demanda de agua y su dinámica actual, así como los pronósticos hasta 2050, tocando el tópico por sector y atendiendo el uso agrícola y pecuario, el doméstico residencial, el público y el industrial, tanto en el AMM como en el resto del estado.

El capítulo 3 fue dedicado a la oferta de agua que en forma sostenible se tiene para el abastecimiento del AMM, por un lado, y para el resto del estado, por el otro. Se abordan los dos tipos de fuente que el estado aprovecha: las superficiales y las subterráneas. Posteriormente, el capítulo 4 establece las brechas que se podrían generar en el futuro, hasta 2050 en el uso agrícola y pecuario, así como en los urbanos.

En el capítulo 5 se describen con detalle las alternativas identificadas para cubrir las brechas potencialmente generadas. Se abordan los temas del incremento de la oferta, la gestión de la demanda, acciones para la conservación del agua, la posible recuperación de volúmenes del sector agrícola y la eficiencia en el propio sistema de abastecimiento.

El capítulo 6 contiene los planteamientos y resultados de una metodología de vanguardia que no se ha aplicado antes para ejercicios de planeación hídrica en nuestro país. La metodología de “toma de decisiones robustas” considera las incertidumbres que nos depara el futuro dentro de la búsqueda de las mejores soluciones. En este capítulo se resumen los portafolios de proyectos hacia la seguridad hídrica futura del AMM.

En el capítulo 7 se aborda el tema de los fenómenos extremos, sequías e inundaciones que afectan al estado generando impactos importantes; mientras que en el capítulo 8 se describe la situación actual de la conservación de las cuencas en el estado y las propuestas para su recuperación.

En el capítulo 9 se resumen las acciones prioritarias, las inversiones requeridas y las posibles fuentes de financiamiento, para después, en el capítulo 10, relacionar los indicadores propuestos para dar seguimiento al cumplimiento del plan. El capítulo 11, finalmente, relaciona las áreas de oportunidad de este ejercicio de planeación, al reconocer que los temas abordados en el documento no agotan los intereses en torno a la seguridad hídrica en Nuevo León.

Referencias

- Aguilar, I., Sisto, N., Ramírez A. (2015). Agua para Monterrey. Logros, retos y oportunidades para Nuevo León y México. Editorial APP. Monterrey, México
- INEGI (2016). Encuesta intercensal 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultado en línea el 17 de diciembre de 2017 <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/especiales/intercensal/>
- INEGI (2017a). PIB - Entidad Federativa, anual. PIB y cuentas Nacionales. Instituto Nacional de Estadística y Geografía <<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/pibe/tabulados.aspx>> (junio 2017).
- INEGI (2017b). Censo de Población y Vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultado en línea el 17 de diciembre de 2017. <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/>
- SEDESOL (2012). Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Comisión Nacional de Población. Secretaría de Desarrollo Social.
- United Nations Water (2013). Water Security and the Global Water Agenda. A UN-Water Analytical Brief.



II. LA DEMANDA DE AGUA, SU DINÁMICA Y PRONÓSTICO A 2050¹

2.1 CONTEXTO GENERAL

A 2015 en Nuevo León se reportó un uso total de 2,069 hm³ al año², de los cuales 1,184 hm³ (57%) son aprovechados de fuentes superficiales y el resto, 885 hm³ (43%) de fuentes subterráneas (CONAGUA, 2016). El estado no cuenta con plantas hidroeléctricas por lo cual todos los usos son consuntivos. La mayor parte del uso del agua se realiza con fines agrícolas, siendo el abastecimiento público el siguiente en importancia como se puede apreciar en la figura 2.1.

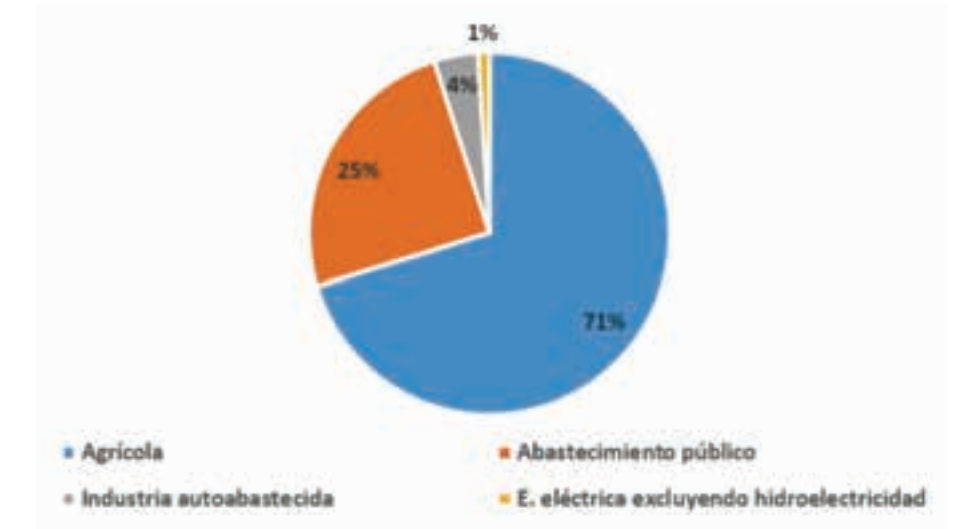


Figura 2.1.

Usos del agua en Nuevo León a 2015 (hm³/año).

Fuente: CONAGUA (2016).

EL 71% DEL AGUA EN NUEVO LEÓN ES ASIGNADO AL SECTOR AGRÍCOLA, EL 25% AL ABASTECIMIENTO PÚBLICO Y EL 4% A LA INDUSTRIA. (CONAGUA, 2016).

¹El contenido de esta sección se basa en los documentos "Diagnóstico de la situación actual en el uso de agua en el entorno urbano del AMM y determinación de brechas y acciones a 2050", "Análisis y pronósticos de largo plazo de la demanda de agua potable de Monterrey, su área urbana y conurbada", "Diagnóstico simplificado de la situación actual en el uso del agua en el ámbito agropecuario, en el estado de Nuevo León", "Diagnóstico simplificado de la situación de los servicios de agua potable, alcantarillado sanitario y saneamiento por región en el estado de Nuevo León", "Diagnóstico simplificado de la situación actual en el uso del agua en la industria en el Estado de Nuevo León", "Análisis y pronósticos de largo plazo de la demanda de agua potable de Monterrey, su área urbana y conurbada", mismos que fueron desarrollados en el contexto de este Plan Hídrico.

²Un hectómetro cúbico es igual a un millón de metros cúbicos.

En cuanto a los usos del agua expresados en gastos o caudales medios anuales, en el estado se aprovechan 37.54 m³/s de fuentes superficiales y 28.06 m³/s de fuentes subterráneas, para un total de 65.60 m³/s. Asimismo, como se aprecia en la figura 2.2, de acuerdo con el tipo de uso, 46.71 m³/s son destinados a fines agrícolas, 16.24 m³/s al abastecimiento público y 2.63 m³/s a la industria autoabastecida. En este sentido, es claro que la cuarta parte del agua utilizada en Nuevo León, se gestiona por medio de SADM.

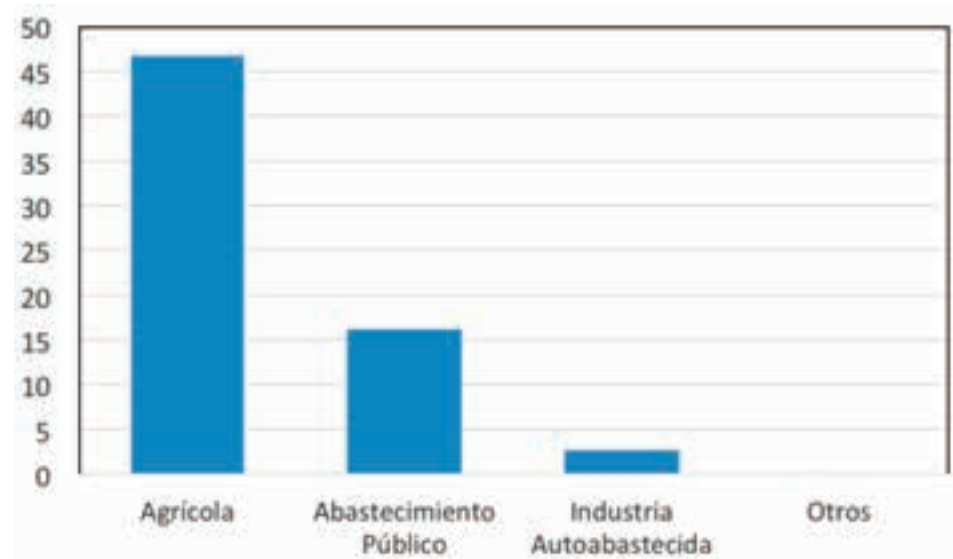


Figura 2.2.
Caudal medio anual por tipo de uso del agua en Nuevo León a 2015 (m³/s). Fuente: CONAGUA (2016).

A 2015, la región hidrológica administrativa VI Río Bravo, en la cual se ubica la mayor parte de Nuevo León, se encontraba en condiciones de estrés alto, de acuerdo con la clasificación del grado de presión de CONAGUA, al tenerse concesionados 9,524 hm³ de los 12, 352 hm³ de agua renovable al año. Esto representa un grado de presión del 77.1%. A la fecha de este informe no se dispone en forma más actualizada ni desagregada a nivel estatal.

2.2 USOS POR SECTOR

Uso Agrícola y pecuario

A pesar de ser el sector con mayor agua asignada (71% del total), existe un profundo desconocimiento del uso del agua en este sector, derivado de la falta de medición de los usuarios, y falta de aplicación del marco normativo por parte de la CONAGUA. En general, la información que se tiene consiste en las concesiones que otorga la autoridad de agua, mismas que están registradas en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA); sin embargo, no se sabe exactamente cuánta agua realmente se aprovecha para los fines que fueron asignados. En ese sentido, se aborda el uso del agua agrícola y pecuario a través de las concesiones otorgadas y la productividad del sector.

En el estado se tiene una estructura basada en Distritos de Riego (DR), Distritos de Desarrollo Rural (DDR) mismos que están subdivididos en Centros de Apoyo al Desarrollo Rural (CADER), Unidades de Riego (UR) y pequeños propietarios.

En Nuevo León, de 1980 a 2016, tanto la superficie sembrada como cosechada han experimentado un decrecimiento significativo: 36% y 35% respectivamente (Figura 2.3). Sin embargo, la producción en peso se ha mantenido en los mismos niveles a través del tiempo (figura 2.4), y el rendimiento del sector presenta un ligero incremento (figura 2.5). Esto refleja un incremento de la eficiencia, que puede ser derivada de múltiples factores, como puede ser la utilización de técnicas y productos mejorados; reducción de costos; incremento del valor de los cultivos; entre otros.

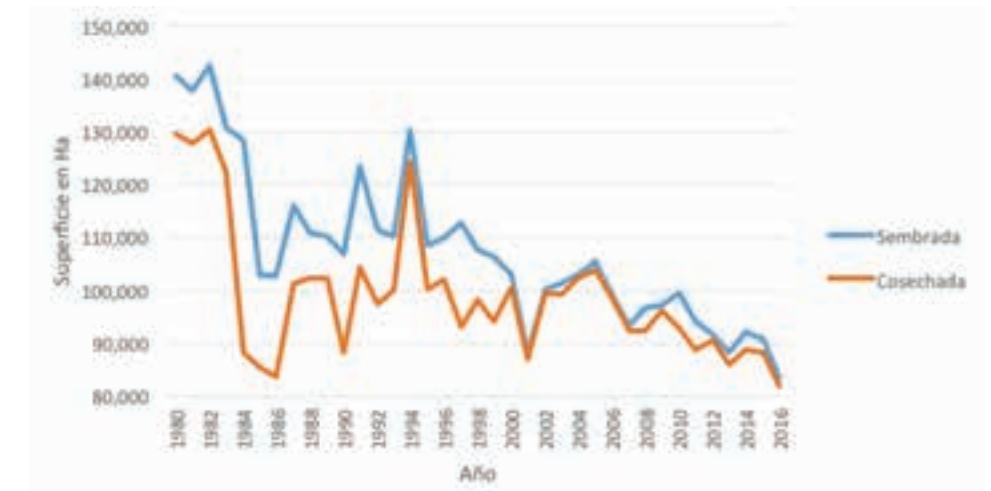


Figura 2.3.
Superficie sembrada y cosechada en Nuevo León.
Fuente: Centro Internacional del Agua (2017a).



Figura 2.4.
Volumen de producción agrícola en Nuevo León.
Fuente: Centro Internacional del Agua (2017a).

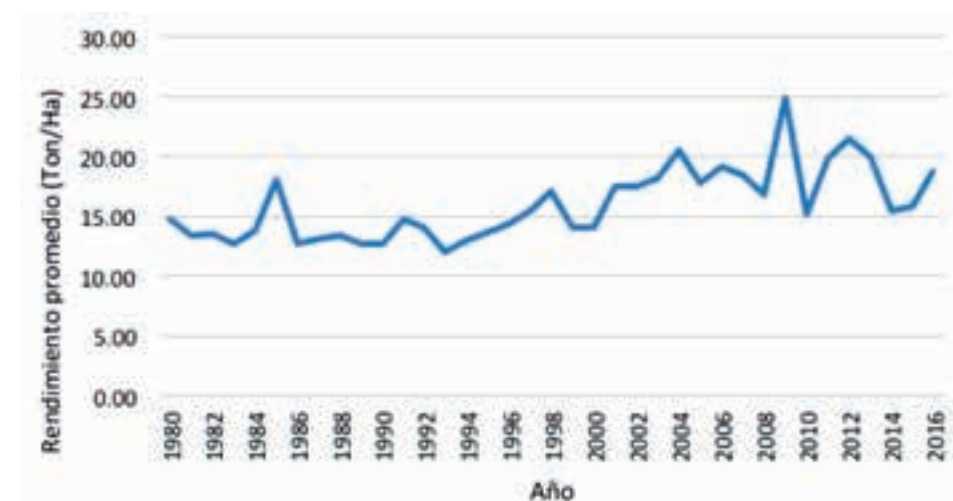


Figura 2.5.
Rendimiento agrícola promedio anual en ton/ha.
Fuente: Centro Internacional del Agua (2017a).

En Nuevo León existen dos distritos de riego, el DR 004 "Don Martín", con 29,616 ha, y el DR 031 "Las Lajas", con 3,852 ha. El primero de ellos es interestatal dado que se comparte con Coahuila y se divide en siete módulos, de los cuales el módulo uno está enteramente en el estado vecino. De acuerdo con los registros del REPGA (CONAGUA, 2017), el DR 004 (Don Martín) cuenta con un volumen concesionado anual de 193,766,000 m³ de agua superficial, correspondientes a los módulos ubicados en Nuevo León, mientras que el DR 031 (Las Lajas) cuenta con un título de 24,000,000 m³ de aguas superficiales (tabla 2.1).

De forma ilustrativa, el agua superficial concesionada al DR 004 representaría un gasto promedio de 6.14 m³/s, mientras que el DR 031, 0.76 m³/s. En el DR 004 se listan también cuatro pozos profundos como fuente de abastecimiento, sin que los volúmenes sean relevantes, mientras que el DR 031 no cuenta con concesiones de uso de aguas subterráneas.

Como se puede apreciar en la tabla 2.1, en el DR 004 se listan 843 usuarios, mientras que en el DR 031 existen 202 usuarios. En "Don Martín", la principal fuente del agua para riego es la Presa Venustiano Carranza, mientras que para el DR 004 "Las Lajas" las principales fuentes de abastecimiento son la Presa El Cuchillo y una derivadora sobre el propio Río San Juan.

| Distrito de riego | Superficie | | Volumen superficial concesionado | | Usuarios | |
|------------------------------------|---------------|-------------|----------------------------------|----------------|--------------|---------------|
| | Ha | % | m ³ /año | % | Número | % |
| Distrito de riego 004 "Don Martín" | 29,616 | 88% | 193,766,000 | 89.0% | 843 | 80.7% |
| Distrito de riego 031 "Las Lajas" | 3,852 | 12% | 24,000,000 | 11.0% | 202 | 19.3% |
| Total | 33,468 | 100% | 217,766,000 | 100.00% | 1,045 | 100.0% |

Tabla 2.1.
Superficie, volumen concesionado y usuarios de los distritos de riego en Nuevo León.

Fuente: Centro Internacional del Agua (2017a).

Por otro lado, la superficie sembrada en el DR 004 "Don Martín" ha sufrido un severo decremento al grado de llegar solo a 5,000 ha aproximadamente en 2016 (figura 2.6). Esto ha motivado a que se gesticione un proceso de redimensionamiento del DR 004 que compactaría el área del distrito a solamente 14,881 ha (Gobierno de N.L., 2016).

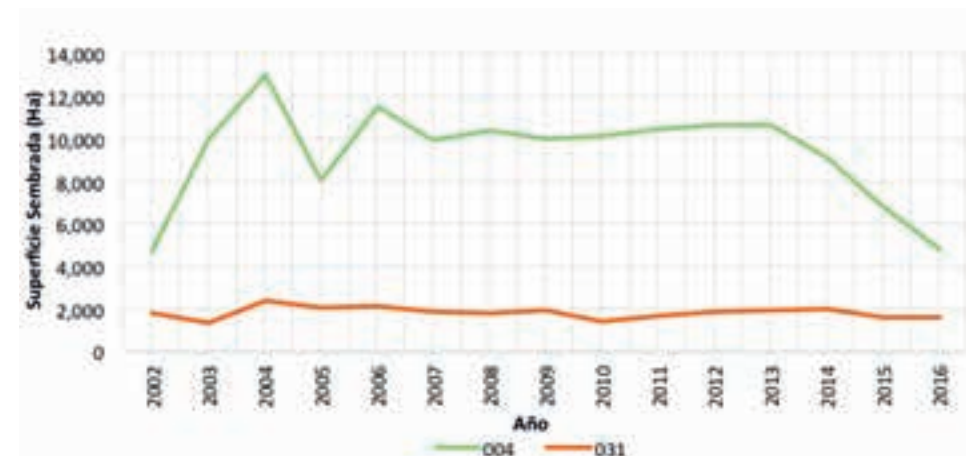


Figura 2.6.
Superficie sembrada en Distritos de Riego.

Fuente: Centro Internacional del Agua (2017a).

La información correspondiente a los distritos de riego en Nuevo León manifiesta que el uso del agua para éstos representa apenas un poco menos del 15% del agua concesionada para fines agrícolas, siendo los Distritos de Desarrollo Rurales (DDR) más relevantes en este aspecto. Este hecho evidencia la necesidad imperante de implementar un programa de revisión tanto de las concesiones existentes como de los volúmenes efectivamente utilizados.

Precisamente, por lo que respecta a los DDR, el estado está dividido en cuatro grandes regiones, el DDR Anáhuac, el DDR Apodaca, el DDR Montemorelos y el DDR Galeana. En la tabla 2.2 se relacionan los títulos de concesión tanto de aguas superficiales como subterráneas para ellos. En conjunto, los DDR cuentan una asignación total de 1,324,259,820 m³ (o equivalente en gasto promedio a 41.99 m³/s, representado más del 80% del agua concesionada al sector agrícola). Del total asignado, el 41.6% corresponde a agua subterránea y 58.4% a agua superficial.

| DDR | Subterráneo | | Superficial | | Total general | |
|--------------|--------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|
| | Títulos | Volumen (m ³ /año) | Títulos | Volumen (m ³ /año) | Títulos | Volumen (m ³ /año) |
| Anáhuac | 600 | 43,817,040 | 50 | 242,845,412 | 650 | 286,662,452 |
| Apodaca | 1,079 | 72,258,491 | 71 | 206,563,821 | 1,150 | 278,822,312 |
| Galeana | 616 | 182,556,538 | 1 | 200,000 | 617 | 182,756,538 |
| Montemorelos | 3,719 | 252,230,164 | 188 | 323,788,354 | 3,907 | 576,018,518 |
| Total | 6,014 | 550,862,233 | 310 | 773,397,587 | 6,324 | 1,324,259,820 |

Tabla 2.2.
Títulos y volúmenes de concesión por DDR.

Fuente: Centro Internacional del Agua (2017a).

La evolución histórica de los volúmenes concesionados para los DDR en Nuevo León (figura 2.7), de 1994 a 2017, muestra una tendencia al alza, especialmente a partir de 2004.

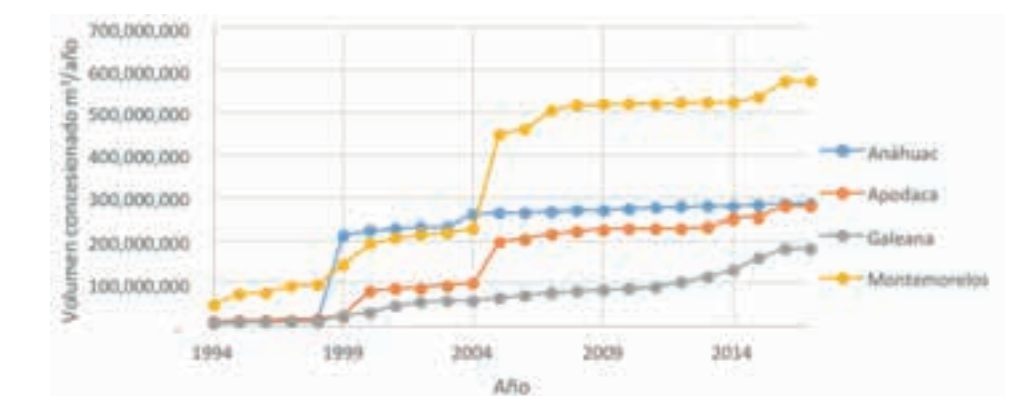


Figura 2.7.
Evolución de los volúmenes concesionados en los DDR de Nuevo León.

Fuente: Centro Internacional del Agua (2017a).

La superficie sembrada en DDR y UR se muestra en la figura 2.8. Es de notar la relevancia del DDR Montemorelos, por su tamaño relativo con los otros DDR. Los DDRs cuentan también con una superficie en modalidad protegida³, siendo Galeana el más importante, alcanzando el 90% del total del estado. Para esta modalidad, el 65.6% corresponde a invernadero, el 22.5% a malla sombra y el 11.8% a casa sombra. La agricultura protegida constituye una de las posibles respuestas a la problemática que se enfrenta en el estado, en cuanto a lo extremo e impredecible que son las condiciones atmosféricas que se presentan a lo largo del año y las altas temperaturas que dominan los meses medios del año.

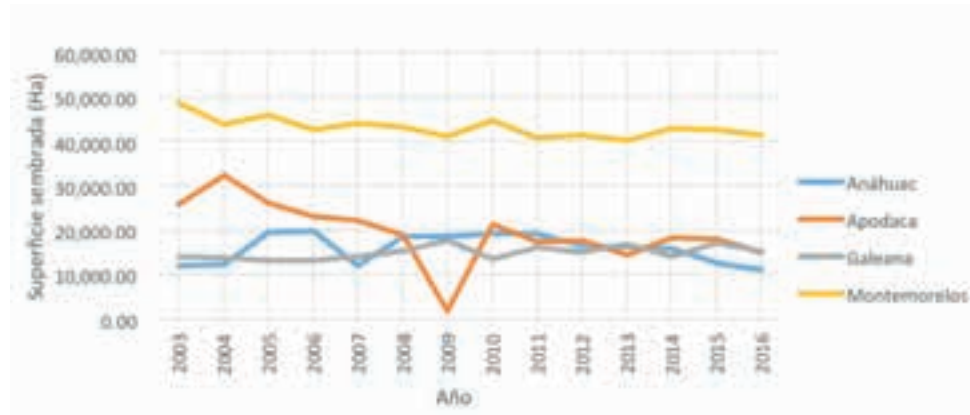


Figura 2.8.
Superficie sembrada en DDR.
Fuente: Instituto Internacional del Agua (2017a).

Con respecto al sector pecuario, de acuerdo con el REPDA, en el estado se tienen 1,410 títulos de concesión que ascienden a un total de 7,412,196 m³ anuales de agua (equivalente a un gasto promedio anual de 0.23 m³/s). En este rubro, todos los aprovechamientos corresponden a tipo subterráneo.

La evolución histórica de estas concesiones se observa en la figura 2.9. Con excepción del área metropolitana, las demás regiones han mantenido relativamente estable el número de permisos de extracción. Esto se asocia a los decretos de veda de agua subterránea.

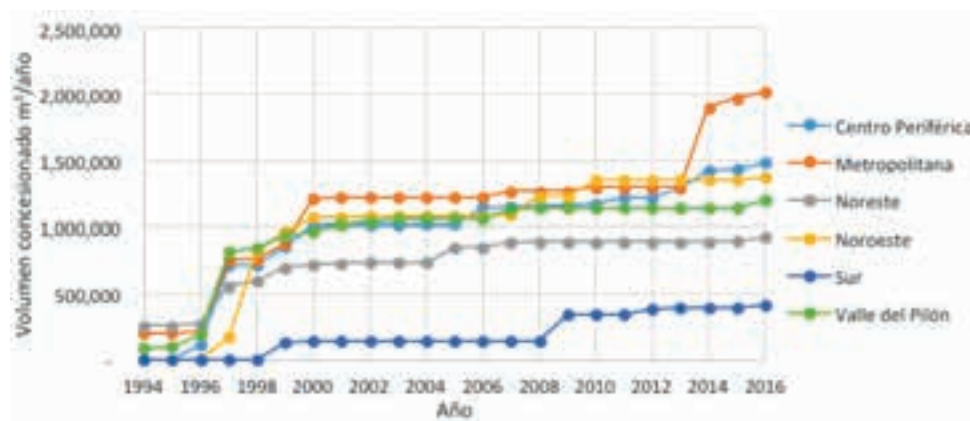


Figura 2.9.
Evolución histórica de concesiones para uso pecuario.
Fuente: Centro Internacional del Agua (2017a).

³La agricultura protegida es aquella que se realiza bajo estructuras construidas, con la finalidad de evitar las restricciones que el medio impone al desarrollo de las plantas cultivadas. Presenta grandes ventajas como la intensificación de la producción, la posibilidad de cultivar todo el año, el aumento de los rendimientos, la obtención de productos de alta calidad, la reducción de riesgos en la producción, el uso más eficiente del agua y otros insumos, el mejor control de plagas, malezas y enfermedades, entre otros. Por otro lado, existen aún aspectos que deben tomarse en cuenta, como la alta inversión inicial, el nivel de especialización requerido y los altos costos de producción, entre otros.

Partiendo del inventario y en la estructura del hato, se hizo una estimación del volumen de agua consumido en 2016, con base en referencias de consumo del líquido por especie. Los resultados de la estimación se presentan en la tabla 2.3. De esta información resulta un volumen potencialmente utilizado de 37,564,192 m³ por año. Este volumen es prácticamente cinco veces mayor que el concesionado. Esta situación manifiesta la urgente necesidad de medir los consumos del sector pecuario, generar datos y llevar a cabo estudios más profundos en el tema. Es posible que el ganado se encuentre en un posible estrés hídrico, y/o que los productores complementen sus necesidades de agua con abrevaderos en donde colectan agua de lluvia, utilicen mayores volúmenes de agua de los que tienen concesionados, etc.

Tabla 2.3
Consumo de agua estimado para especies pecuarias para 2016 (en m³ por año).
Fuente: Centro Internacional del Agua (2017a).

| Especie | Consumo total (m ³ /año) |
|--------------|-------------------------------------|
| Ave | 19,531,544 |
| Bovino | 15,681,382 |
| Caprino | 1,050,338 |
| Ovino | 319,633 |
| Porcino | 981,293 |
| Total | 37,564,190 |

Uso urbano

Como se mencionó, la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento se encuentra a cargo de SADM, tanto en el AMM como en el resto del estado por lo que respecta a sistemas formales de abastecimiento. De acuerdo con SADM (2017), en el AMM, se mantiene una coberturas del 99.69% (figura 2.10). En el caso del área no metropolitana, la cobertura de agua potable ha tenido una evolución significativa desde el año 2000 y se ubica actualmente en 99.45% (figura 2.11).

En la tabla 2.4 se muestran las estadísticas básicas del abastecimiento de agua potable, tanto para el AMM como para los municipios no metropolitanos, a septiembre de 2017.

Tabla 2.4
Estadísticas seleccionadas relacionadas con la prestación de servicios de agua potable, actualizadas a septiembre de 2017.
Fuente: Centro Internacional del Agua (2017c).

| Estadística | AMM | Área No Metropolitana |
|---|----------------|-----------------------|
| Operación | | |
| Número de plantas potabilizadoras | 4 | 10 |
| Número de tanques de almacenamiento | 228 | 380 |
| Porcentaje de cobertura de agua potable | 99.63 | 99.45 |
| Porcentaje de agua no contabilizada | 31.02 | 56.7 |
| Volumen anual de agua producido (m ³) | 346,826,188.80 | 40,717,320.00 |
| Ingeniería | | |
| Kilómetros de tubería de agua potable | 10,900.24 | 3,411.09 (a) |
| Comercial | | |
| Número de tomas registradas | 1,269,283.00 | 330,267.00 |
| Volumen anual de agua facturada (m ³) | 194,522,153.00 | 34,041,465.00 |
| Volumen anual de agua cobrado (m ³) | 192,576,931.00 | 27,573,587.00 |
| Administración | | |
| Número de empleado por cada mil tomas | 3.72 | 3.09 |

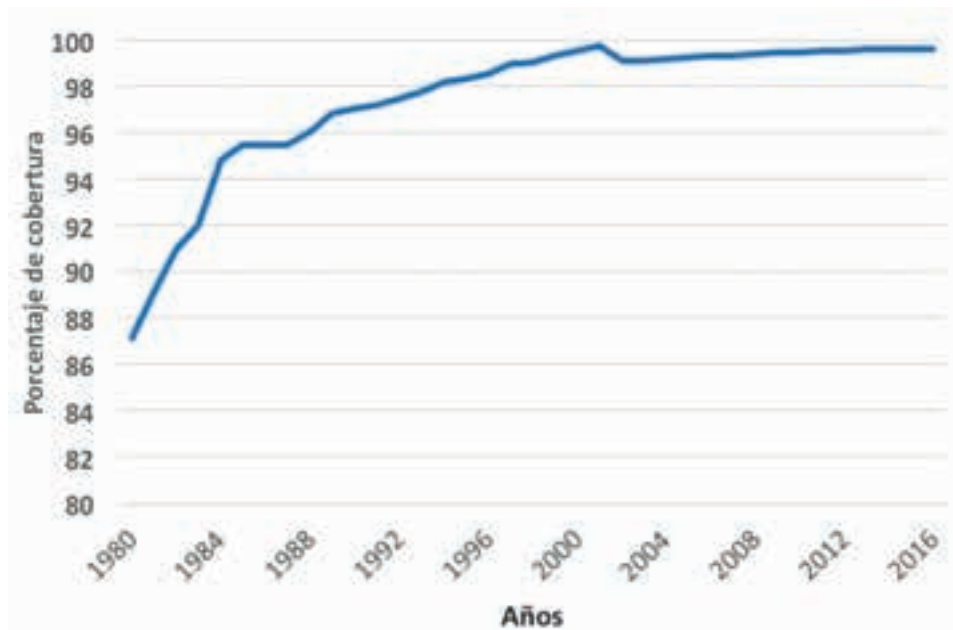


Figura 2.10.
Cobertura del servicio de agua potable para el AMM durante el periodo de 1937 a 2016. Porcentaje de población con acceso.
Fuente: Ramírez et al. (2017).

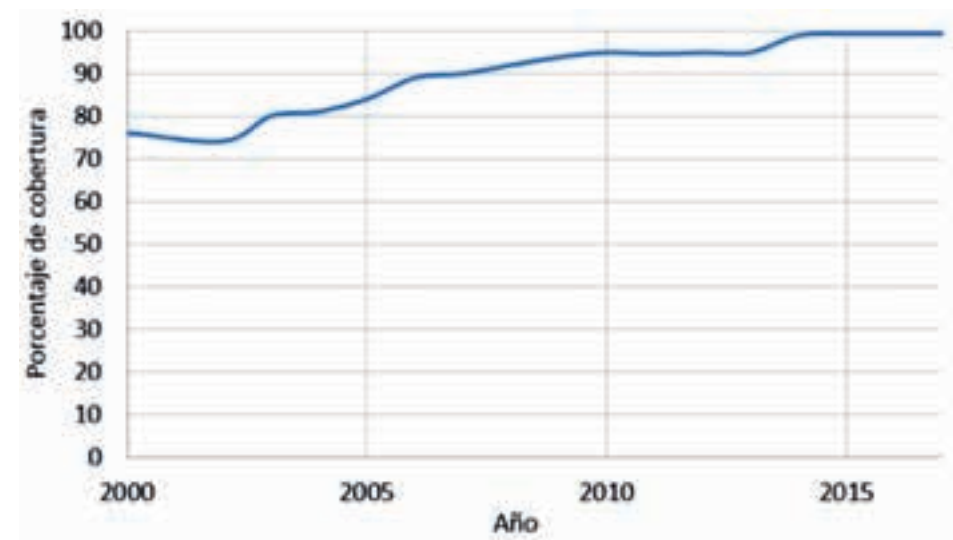


Figura 2.11.
Evolución de la cobertura de agua potable en el área no metropolitana de Nuevo León.
Fuente: Instituto Internacional del Agua (2017c).

Uso Doméstico

Como se puede observar en la figura 2.12, los volúmenes del consumo de agua para uso doméstico en el AMM durante el periodo 2002 a 2015 presentan un incremento del 21%, superando ya los 202 millones de metros cúbicos facturados al año 2015. Dado que la cobertura se ha mantenido también cercana al 100% y por el crecimiento de la población, esto sugiere que el consumo per cápita ha disminuido. De acuerdo con información de SADM, este rubro representa el 72% del volumen total facturado en el AMM.

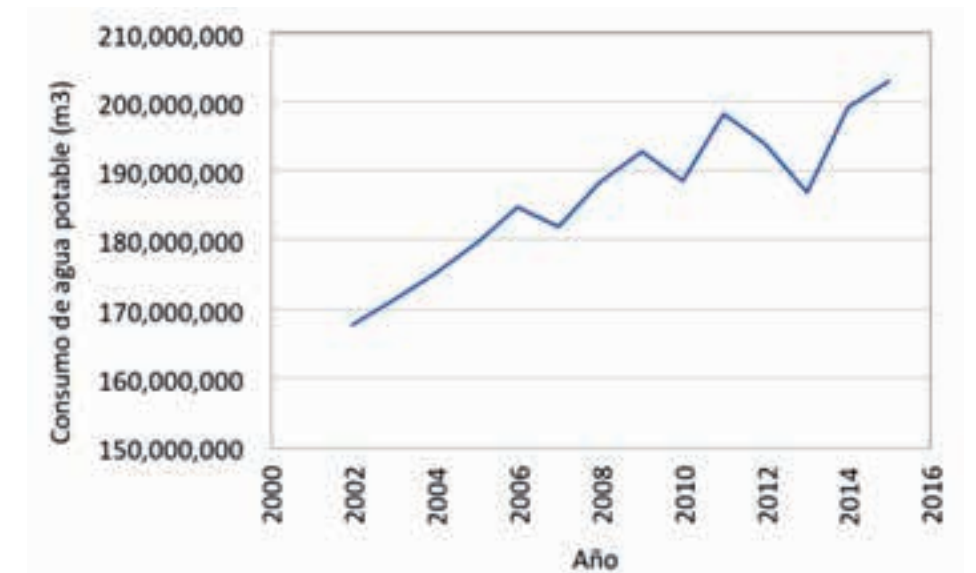


Figura 2.12.
Consumo de agua potable en m³, para el sector doméstico en el periodo 2002 a 2015.
Fuente: Navarro (2016).

Uso público

Por lo que respecta al uso público, este segmento es el que presenta cambios más acelerados en su evolución. Como se observa en la figura 2.13, en el transcurso de 14 años, de 2002 a 2015, el consumo de este sector se ha incrementado en 74% alcanzando al final del periodo un volumen facturado superior a los 55 millones de metros cúbicos al año.

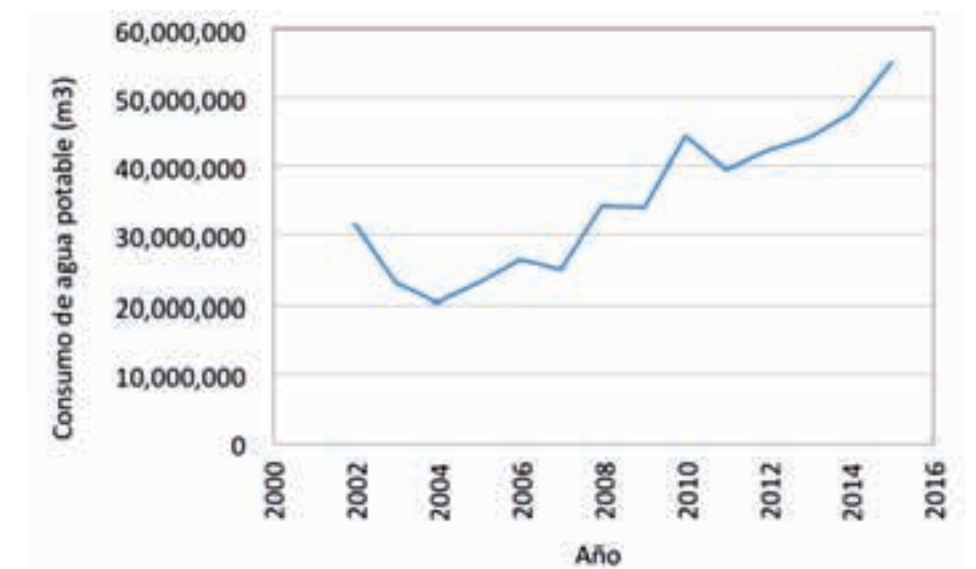


Figura 2.13.
Consumo de agua potable en m³, para el sector público en el periodo de 2002 a 2015.
Fuente: Navarro (2016).

Uso industrial y comercial

Como ya se mencionó, la industria en Nuevo León se abastece de dos formas distintas: a través de la red de SADM (a 2015, con un volumen de 33,598,101 m³ que representa un gasto promedio de 1.07 m³/s), como a través de pozos que les fueron concesionados por la CONAGUA (con un volumen concesionado de 78,571,392 m³, equivalente a un gasto promedio de 2.49 m³/s). A nivel estatal, solo el 7.6% de los requerimientos industriales de agua es satisfecha por SADM (figura 2.14).

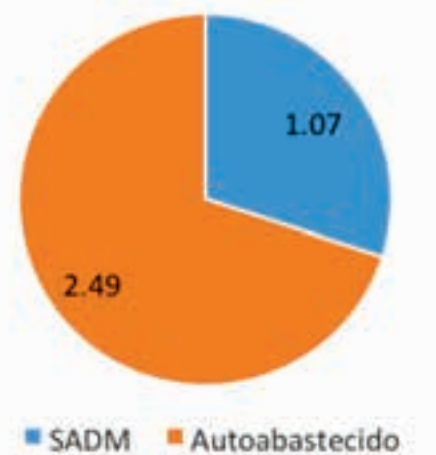


Figura 2.14
Caudales de agua potable en m³/s, para el sector industrial en Nuevo León.

Fuente: Centro Internacional del Agua (2017b).

Alcantarillado y Saneamiento

De acuerdo con información de SADM (2017), la cobertura de alcantarillado alcanza el 98.81% en el AMM mientras que en el área no metropolitana llega al 75.89% respectivamente. Aunque por lo que respecta al entorno urbano, Nuevo León se encuentra posicionado en el tercer lugar nacional, en la región rural apenas ocupa el lugar 19. Esto indica que aún hay trabajo por realizar en este rubro, particularmente en el medio rural y no metropolitano.

En cuanto a infraestructura de tratamiento, a 2016 existen 54 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales con una capacidad instalada agregada de 15.056 m³/s. El caudal medio efectivamente tratado fue de 11.757 m³/s (78.1% de la capacidad instalada). Asimismo, se cuenta con 14 plantas potabilizadoras con una capacidad instalada de 15.348 m³/s y un caudal tratado de 6.082 m³/s (39.7% de su capacidad). Por lo que respecta a las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales, el inventario a diciembre de 2015 indica la existencia de plantas que pueden tratar en conjunto hasta 4.09 m³/s, siendo el caudal medio efectivamente tratado de 2.94 m³/s que representa el 71.9% de la capacidad instalada.

Este aspecto es relevante en virtud de que, en la medida que se incorporen nuevas fuentes de abastecimiento al sistema, se requerirá aumentar la capacidad instalada tanto de potabilización, por un lado, como la de tratamiento de aguas residuales por el otro.

Dinámica de la demanda en el AMM

El desarrollo de cualquier ciudad implica un crecimiento en la demanda de servicios públicos. En ese sentido, SADM ha enfrentado un constante crecimiento en la demanda de agua potable en las últimas décadas. De 2002 a 2015 la tasa de crecimiento promedio de la demanda de agua potable que satisface SADM fue de 1.74%, siendo el 2014 y 2015 años de fuerte crecimiento de la demanda (tasas de crecimiento de 6.5 y 4.6% respectivamente). Una tasa de crecimiento de 1.74% equivale a incrementar el abasto de agua en alrededor de 210 litros por segundo.

Como se puede apreciar en la tabla 2.5, a 2015 el volumen total facturado por SADM ascendió a 291 millones de m³. A esta cifra se debe de añadir el agua que se pierde por fugas, tomas clandestinas y por errores de medición, concepto que en México se conoce como "agua no contabilizada" (ANC) y cuyo nivel es de alrededor de 30%. Así, a 2015 SADM hacía una extracción promedio de sus fuentes 13.2 m³/s.

Al revisar el consumo de agua por sector se puede apreciar que el sector residencial representa prácticamente el 70% de la demanda de agua que satisface el operador de agua; mientras que el 19% se destina al sector público (riego de parques y espacios públicos, escuelas públicas, edificios públicos, etc.), y el 11% restante al sector comercio e industria⁵.

Sin embargo, cuando se revisan las tasas de crecimiento por sector, se puede observar un exuberante crecimiento de la demanda de agua del sector

| Año | Residencial | | Comercial-Industrial | | Público | | Total | |
|----------------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|
| | Consumo | Crec. % | Consumo | Crec. % | Consumo | Crec. % | Consumo | Crec. % |
| 2002 | 167.7 | - | 35.0 | - | 31.7 | - | 234.4 | - |
| 2003 | 171.2 | 2.1% | 33.9 | -3.1% | 23.0 | -27.4% | 228.1 | -2.7% |
| 2004 | 175.0 | 2.2% | 33.6 | -0.9% | 20.2 | -12.2% | 228.8 | 0.3% |
| 2005 | 179.5 | 2.6% | 34.7 | 3.3% | 23.2 | 14.9% | 237.4 | 3.8% |
| 2006 | 184.6 | 2.8% | 35.6 | 2.6% | 26.4 | 13.8% | 246.6 | 3.9% |
| 2007 | 181.8 | -1.5% | 34.9 | -2.0% | 24.9 | -5.7% | 241.6 | -2.0% |
| 2008 | 188.1 | 3.5% | 35.2 | 0.9% | 34.3 | 37.8% | 257.6 | 6.6% |
| 2009 | 192.7 | 2.4% | 33.3 | -5.4% | 34.0 | -0.9% | 260.0 | 0.9% |
| 2010 | 188.4 | -2.2% | 32.0 | -3.9% | 44.5 | 30.9% | 264.9 | 1.9% |
| 2011 | 198.1 | 5.1% | 33.0 | 3.1% | 39.5 | -11.2% | 270.6 | 2.2% |
| 2012 | 193.3 | -2.4% | 31.7 | -3.9% | 42.3 | 7.1% | 267.3 | -1.2% |
| 2013 | 186.8 | -3.4% | 30.7 | -3.2% | 44.1 | 4.3% | 261.6 | -2.1% |
| 2014 | 199.1 | 6.6% | 31.9 | 3.9% | 47.7 | 8.2% | 278.7 | 6.5% |
| 2015 | 202.8 | 1.9% | 33.5 | 5.0% | 55.1 | 15.5% | 291.4 | 4.6% |
| Crecimiento (2002 - 2015) | | 20.9% | | -4.3% | | 73.8% | | 24.3% |

Tabla 2.5

Consumo de agua (medido en millones de m³) por año y sector.

Fuente: Navarro (2016).

público con una tasa del 73.8% para el período 2002-2015; esto equivale a una tasa anual de crecimiento medio de casi 5.0%. Lo anterior contrasta con el 21% del sector residencial (1.4% anual) y sobre todo con el -4.3% del sector comercio e industria (-0.3% anual). No existe una expansión en la infraestructura y áreas verdes que explique el desproporcionado crecimiento de la demanda de agua potable del sector público. Dado lo anterior, se debe de revisar y atacar el tema de las pérdidas de agua por fugas en los edificios y escuelas públicas.

Asimismo, es importante revisar los incentivos que existen en los distintos sectores, los cuales pueden explicar, al menos parcialmente, la diferencia en las dinámicas de sus demandas, en especial se deben de analizar los esquemas tarifarios. En el caso de SADM, para el área urbana y conurbada, el esquema cuenta con tres sectores, 13 categorías y dos subcategorías. La tabla 2.6 describe el esquema vigente del operador de agua, y muestra el porcentaje del consumo total que es asignado a cada una de las categorías.

Como se puede apreciar las categorías 2, 6 y 13, en conjunto representan el 89% del consumo total de SADM. De ellas, las categorías 2 y 6, de los sectores residencial y comercial-industrial, cuentan con esquemas tarifarios escalonados crecientes; mientras que la categoría 13 consta de un precio fijo de \$8.43 por metro cúbico⁶, sin importar el volumen total que se demande. Ese nivel de tarifa corresponde prácticamente a lo que se carga a usuarios de la categoría 2 cuando consumen 5 m³ al mes; y a los usuarios de la categoría 6 cuando consumen 1 m³ al mes. Esto se puede apreciar en la figura 2.15.

⁵Como ya se señaló, SADM no provee de agua al sector agropecuario que en términos generales es el sector con mayor asignación de agua.

⁶Tarifa vigente al mes de enero de 2018.

| Segmento | Subsegmento | Categoría | % del consumo total (2015) | Descripción | Tipo de esquema |
|----------------------|---------------|---|----------------------------|---|---|
| Residencial | Unifamiliar | Dominata - Categoría 1: Dominata | 0.00% | Tarifa para usuarios domésticos. Servicio de agua potable sin drenaje. | Escalonado creciente con 200 niveles de consumo y precio. A partir del nivel 200, el incremento en tarifa por m ³ adicional crece linealmente. |
| | | Dominata - Categoría 1 preferencial | 0.00% | Tarifa preferencial para personas mayores de 50 años. Servicio de agua potable sin drenaje. | |
| | | Dominata - Categoría 2 | 84.00% | Tarifa para usuarios domésticos. Servicio de agua potable con drenaje. | |
| | Multifamiliar | Dominata - Categoría 2 preferencial | 1.40% | Tarifa preferencial para personas mayores de 50 años. Servicio de agua potable con drenaje. | Cuenta fija por m ³ consumido más el 25% sobre el valor de consumo de agua potable. |
| | | Dominata - Categoría 3 | 0.10% | Tarifa para usuarios domésticos colectivos. | |
| | | Dominata - Categoría 4 | 1.30% | Tarifa para usuarios domésticos colectivos. Cuenta base +25% sobre el valor de consumo. | |
| Comercial Industrial | - | Dominata - Categoría 5 | 1.10% | Tarifa para usuarios domésticos colectivos sin drenaje. | Cuenta fija por m ³ consumido. |
| | | Comercio e industria - Categoría 6 | 11.40% | Tarifa para establecimientos comerciales e industriales. | Escalonado creciente con 200 niveles de consumo y precio. A partir del nivel 200, el incremento en tarifa por m ³ adicional crece linealmente. |
| Público | - | Molino de molienda - Categoría 7 | 0.10% | Tarifa para molinos de molienda. | Cuenta fija por m ³ consumido más el 25% sobre el valor de consumo de agua potable. |
| | | Gobierno e organismos públicos - Categoría 8 | 2.90% | Aplica a consumos de 30 m ³ y más. | Escalonado creciente con 20 niveles de consumo y precio. Más el 25% sobre el valor de consumo de agua potable. |
| | | Gobierno e organismos públicos - Categoría 9 | 0.80% | Aplica a consumos de 100 m ³ y más. | |
| | | Gobierno e organismos públicos - Categoría 10 | 2.30% | Aplica a consumos de 30 m ³ y más. | |
| | | Gobierno e organismos públicos - Categoría 11 | 0.10% | Tarifa para instituciones de beneficencia pública y privada con reconocimiento oficial. | |
| | | Instalantes para inodoros - Categoría 12 | 0.00% | Instalantes contra inundación. | Cuenta fija por m ³ consumido. |
| | | Agua en bloque - Categoría 14 | 13.10% | Agua en bloque. | |

Tabla 2.6

Esquema tarifario de SADM por segmento, categorías y porcentaje de consumo.

Fuente: Navarro (2017).

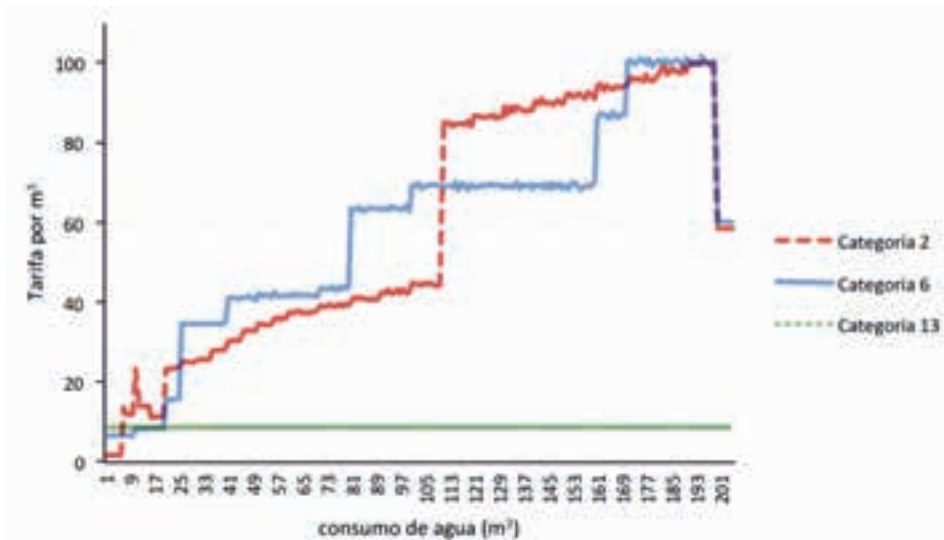


Figura 2.1

Incremento en tarifa por m³ adicional de consumo (categorías 2, 6 y 13).

Fuente: Navarro (2017).

Como se puede apreciar, para las categorías 2 y 6, la tarifa tiene un crecimiento ascendente. Para el caso de la categoría 2 únicamente se aprecian tres cambios estructurales: al incrementar de 6 a 7 m³ se incrementa la tarifa por m³ a \$13.7, respecto al promedio de incremento anterior de \$1.5 por m³. Otro cambio importante al pasar de 110 a 111 m³, pasando el precio marginal de \$44.1 a \$85.0. Y finalmente un cambio negativo al incrementar el consumo de 199 a 200 metros³: pasa de \$100.1 a \$58.3.

Por su parte, para la categoría 6 (comercial e industrial) se identifican un número mayor de cambios importantes en los niveles de las tarifas; sin embargo, también se aprecian largos intervalos de consumo en los que prácticamente no hay un cambio significativo en el nivel de tarifas. Asimismo, al pasar a los 199 m³ de consumo al mes, se da un cambio negativo en el precio marginal: pasa de \$100.2 por m³ adicional, a \$59.9. Estos cambios negativos para los niveles de consumo más altos contradicen el propósito del esquema escalonado ascendente, por lo que debería de ser revisado por el operador de agua.

El esquema que enfrenta el agua en bloque⁷ no genera ningún tipo de incentivos a cuidar el agua a diferencia de lo que los esquemas escalonados crecientes buscan generar. Esto puede explicar, al menos de forma parcial, el crecimiento desmedido de la demanda del sector público.

Por otro lado, los esquemas escalonados crecientes, tal y como se encuentran actualmente, también tiene importantes áreas de oportunidad. Este tipo de esquemas busca establecer precios crecientes a mayores niveles de consumo, con el fin de incentivar a los usuarios a hacer un uso eficiente del agua y evitar así el desperdicio. Sin embargo, para que esto realmente suceda, deben de existir dos componentes: 1. El usuario debe de entender la factura y el esquema tarifario; 2. Los incentivos a ahorrar agua deben de ser significativos.

En una encuesta publicada por el Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey en 2015, se identificó que solo el 16% de los ciudadanos del AMM reportan conocer cómo se calcula el cobro que hace SADM a los hogares. Esta situación impide que los usuarios de agua ajusten sus patrones de consumo de forma estratégica. El organismo operador de agua debe de trabajar en esta línea para simplificar y transparentar el esquema tarifario, y asegurar un mayor entendimiento del esquema tarifario por parte de sus usuarios.

Por otro lado, en la experiencia internacional se recomienda manejar esquemas escalonados crecientes con hasta 10 escalones o niveles de consumo-precio⁸. Esto contrasta con los 200 escalones que maneja SADM en sus distintos esquemas escalonados crecientes. La idea de mantener pocos escalones consiste en hacer cambios fuertes en el nivel de las tarifas, de tal forma que exista una recompensa significativa para el usuario cuando baja de un nivel a otro; y un castigo significativo cuando sube de nivel de consumo.

Alrededor del 90% de los usuarios residenciales de SADM consumen 30 m³ al mes o menos; y el cambio promedio de la tarifa entre un nivel de consumo y otro, para ese grupo, es de apenas \$14.1. La reducción del número de escalones (a 10 niveles, por ejemplo); incrementar el precio de forma significativa entre escalones; mantener constantemente el crecimiento positivo del precio a mayores niveles de consumo; y ayudar a los usuarios a entender el esquema tarifario son acciones que recomendamos llevar a cabo en el corto y mediano plazo.

PRONÓSTICOS DEL USO DEL AGUA POR SECTORES A 2050

Uso Agrícola y pecuario

Para este caso, el uso del agua está ligado a la superficie bajo riego. En ese sentido, las concesiones ya están otorgadas y en el corto plazo no existe la posibilidad de incrementar los volúmenes asignados, puesto que prácticamente toda la cuenca se encuentra en veda. Las concesiones están ya otorgadas y en el caso más desfavorable, desde el punto de vista hídrico, la demanda del líquido en este sector, tanto por los DR como por los DDR y los pequeños propietarios, no crecerá. Cierto es que el crecimiento de la población demandará mayores cantidades de alimentos, sin embargo, al no existir volúmenes disponibles para asignar en concesión, la demanda deberá satisfacerse mediante la importación de dichos bienes de consumo, aumentar la eficiencia en el uso del agua en el sector agropecuario y/o a través de la adquisición de derechos.

⁷SADM define el agua en bloque como el "agua entregada a lo largo de los acueductos de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey I.P.D., para su distribución por las juntas u organismos operadores de los sistemas de aguas federales, estatales, municipales o por concesionarios"

⁸Ver por ejemplo, Tiger et al. (2014), Baerenklau et al. (2013), Marzano et al. (2015)

Uso Doméstico⁹

Para este caso, así como para el uso público y comercial – industrial en el AMM, se han desarrollado modelos econométricos¹⁰ con los cuales se realizaron proyecciones del volumen de agua facturada, usando información mensual por toma del periodo 2002 a 2015¹¹. En estos modelos se tomaron en cuenta además de la población, otros factores de potencial influencia como lo son los precios (tarifas), ingreso, actividad económica, temperatura media, precipitación e índice de hacinamiento. A las proyecciones de agua facturada se adicionaron los niveles del ANC de 29% que es el estimado actual de SADM, así como dos escenarios optimistas (18% y 22%) y dos escenarios pesimistas (35% y 40%), generando así cinco pronósticos de los volúmenes requeridos por segmento hasta el año 2050.

Para el caso del uso doméstico, tanto en la figura 2.16 como en la tabla 2.7 se muestran las proyecciones hasta 2050. En el caso de un nivel de ANC del 29%, el estimado de agua que deberá introducirse al sistema de distribución para uso doméstico en 2050 alcanza los 307,977,661 m³, que equivale a un gasto medio de 9.7 m³/s. En el escenario más pesimista (ANC=40%), esta estimación asciende prácticamente a 11.0 m³/s.

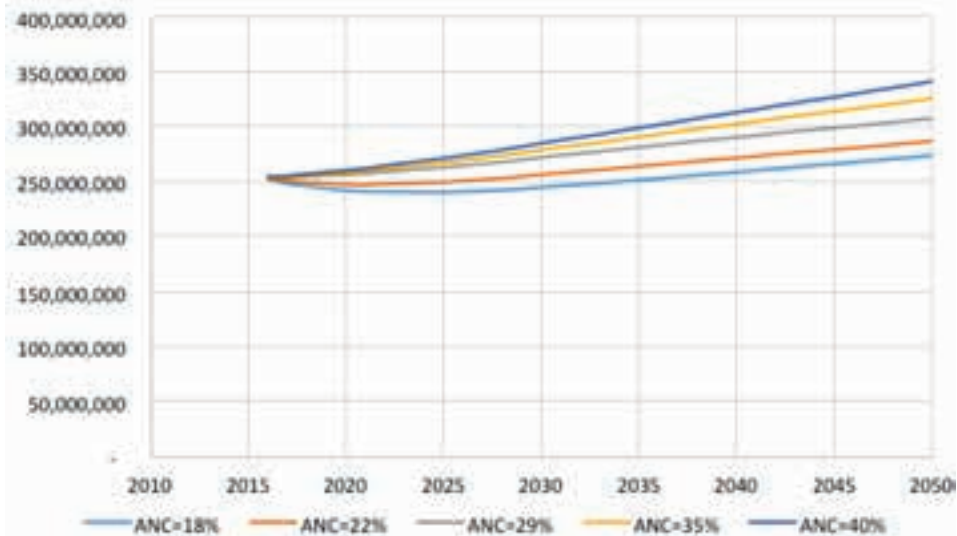


Figura 2.16
Proyecciones del volumen de agua para uso doméstico en el AMM para diferentes niveles de Agua No Contabilizada (ANC), en metros cúbico

Fuente: Navarro (2017).

| Año | ANC=18% | ANC=22% | ANC=29% | ANC=35% | ANC=40% |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2016 | 251,570,123 | 252,108,119 | 253,266,838 | 253,469,527 | 253,638,434 |
| 2020 | 242,025,127 | 246,718,041 | 256,261,135 | 258,223,136 | 259,858,136 |
| 2025 | 240,437,153 | 248,930,621 | 262,998,204 | 267,266,221 | 270,822,903 |
| 2030 | 244,905,945 | 255,853,699 | 272,278,067 | 279,031,080 | 284,658,590 |
| 2035 | 251,507,054 | 263,400,479 | 281,503,604 | 290,897,802 | 298,726,299 |
| 2040 | 258,722,106 | 271,076,396 | 290,514,654 | 302,699,444 | 312,853,436 |
| 2045 | 266,195,374 | 278,642,137 | 299,156,293 | 314,268,185 | 326,861,428 |
| 2050 | 274,158,482 | 286,496,919 | 307,977,661 | 326,176,088 | 341,341,443 |

Tabla 2.7
Proyecciones del volumen de agua en metros cúbicos para uso doméstico en el AMM para diferentes niveles de ANC

Fuente: Navarro (2016).

⁹Se pueden consultar los detalles técnicos de esta sección en el reporte "Análisis y pronósticos de largo plazo de la demanda de agua potable de Monterrey, su área urbana y conurbada".

¹⁰Modelos panel autorregresivos de rezagos distribuidos (Panel ARDL) partiendo de los registros de consumo por toma. Bajo estos modelos se analiza el agua facturada y posteriormente se suman niveles de ANC. Adicionalmente, como ejercicio de validación, se desarrollaron modelos de corrección de errores para series cointegradas partiendo de las extracciones de las fuentes de agua. Este enfoque analiza las extracciones agregadas, y no es necesario considerar el ANC. Al comparar los pronósticos de largo plazo de las dos metodologías se encuentran diferencia de entre 1 y 4%.

¹¹El análisis de Panel ARDL explora la base de datos de SADM que consiste de un total de más de 187,200,000 registros de tomas (1,200,000 tomas, por 13 años de datos mensuales).

Uso público

De manera análoga, con las mismas consideraciones que para el uso doméstico, se realizaron proyecciones del volumen facturado correspondiente al uso público. Asimismo, se aplicaron los porcentajes de ANC planteados para el caso anterior. En la figura 2.17 y en la tabla 2.8 se presentan los pronósticos hasta el año 2050. Es notable reconocer que este segmento, en el caso pesimista (ANC=40%) al año 2050, el caudal estimado sobrepasa los 11.6 m³/s, que es incluso mayor que el requerido para el uso doméstico en el AMM.

Figura 2.17
Proyecciones del volumen de agua en metros cúbicos para uso público en el AMM para diferentes niveles de ANC.

Fuente: Navarro (2016).

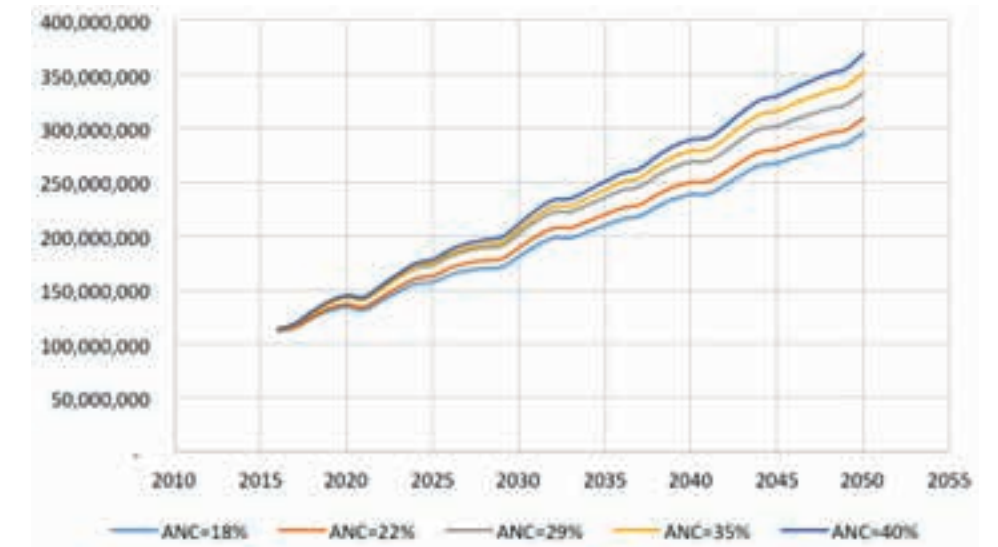


Tabla 2.8.

Proyecciones del volumen de agua en metros cúbicos para uso público en el AMM para diferentes niveles de ANC

Fuente: Navarro (2016).

| Año | ANC=18% | ANC=22% | ANC=29% | ANC=35% | ANC=40% |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2016 | 111,588,886 | 111,827,525 | 112,341,498 | 112,431,404 | 112,506,326 |
| 2020 | 133,946,692 | 136,543,944 | 141,825,486 | 142,911,338 | 143,816,215 |
| 2025 | 157,465,774 | 163,028,269 | 172,241,333 | 175,036,520 | 177,365,842 |
| 2030 | 180,997,158 | 189,088,070 | 201,226,459 | 206,217,257 | 210,376,256 |
| 2035 | 209,998,101 | 219,928,625 | 235,043,994 | 242,887,764 | 249,424,240 |
| 2040 | 238,508,051 | 249,897,096 | 267,816,635 | 279,049,423 | 288,410,080 |
| 2045 | 267,839,829 | 280,363,484 | 301,004,369 | 316,209,616 | 328,880,655 |
| 2050 | 295,782,334 | 309,093,948 | 332,268,953 | 351,902,754 | 368,264,254 |

Uso industrial y comercial

Para el segmento industrial – comercial, los volúmenes de uso proyectados para el futuro se mantienen en niveles entre los 40 y 50 millones de metros cúbicos anuales. Para el caso más pesimista de ANC a 2050, se requiere de un gasto medio de 1.40 m³/s, lo que se traduce en un volumen anual de casi 51 millones de m³ al año.

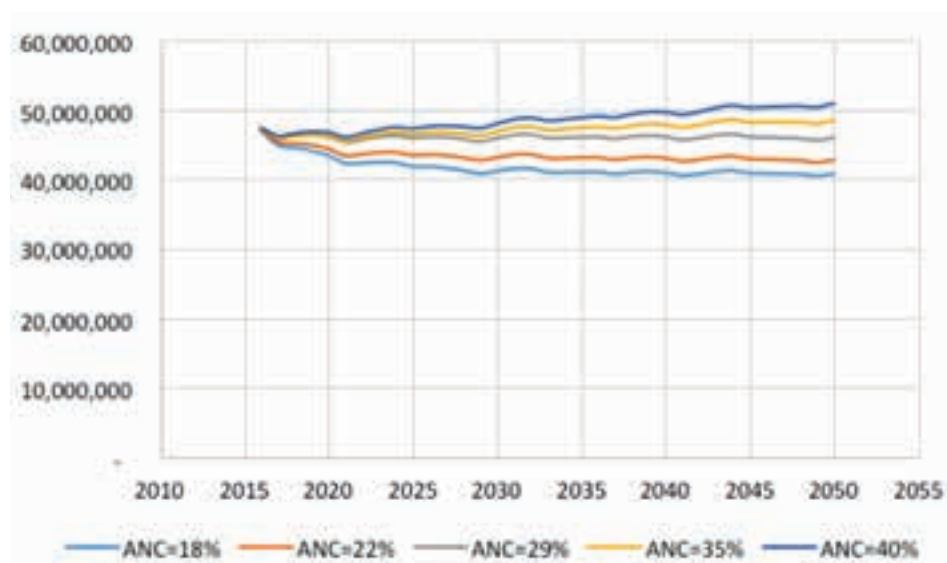


Figura 2.18
Proyecciones del volumen de agua en metros cúbicos para uso industrial-comercial en el AMM para diferentes niveles de ANC.

Fuente: Navarro (2016.)

| Año | ANC=18% | ANC=22% | ANC=29% | ANC=35% | ANC=40% |
|------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 2016 | 46,986,952 | 47,087,436 | 47,303,855 | 47,341,713 | 47,373,260 |
| 2020 | 43,479,132 | 44,322,201 | 46,036,591 | 46,389,058 | 46,682,782 |
| 2025 | 41,912,196 | 43,392,748 | 45,844,962 | 46,588,949 | 47,208,937 |
| 2030 | 41,225,525 | 43,068,383 | 45,833,131 | 46,969,880 | 47,917,170 |
| 2035 | 41,086,250 | 43,029,162 | 45,986,493 | 47,521,131 | 48,799,996 |
| 2040 | 41,015,720 | 42,974,270 | 46,055,854 | 47,987,533 | 49,597,265 |
| 2045 | 40,944,472 | 42,858,954 | 46,014,310 | 48,338,725 | 50,275,737 |
| 2050 | 40,846,448 | 42,684,733 | 45,885,115 | 48,596,471 | 50,855,934 |

Tabla 2.9
Proyecciones del volumen de agua en metros cúbicos para uso público en el AMM para diferentes niveles de ANC.

Fuente: Navarro (2016.)

Como se puede observar, la necesidad de acciones para garantizar el abastecimiento de agua en el AMM es inevitable y urgente, ya que la oferta sostenible de agua es prácticamente igual a la demanda actual. Para el escenario del 29% de ANC, se requerirían 21.7 m³/s para satisfacer la demanda de los estos sectores (residencial, público y comercial e industrial) para el año 2050. Esto implica incrementar la oferta sostenible¹² en al menos 8.6 m³/s.

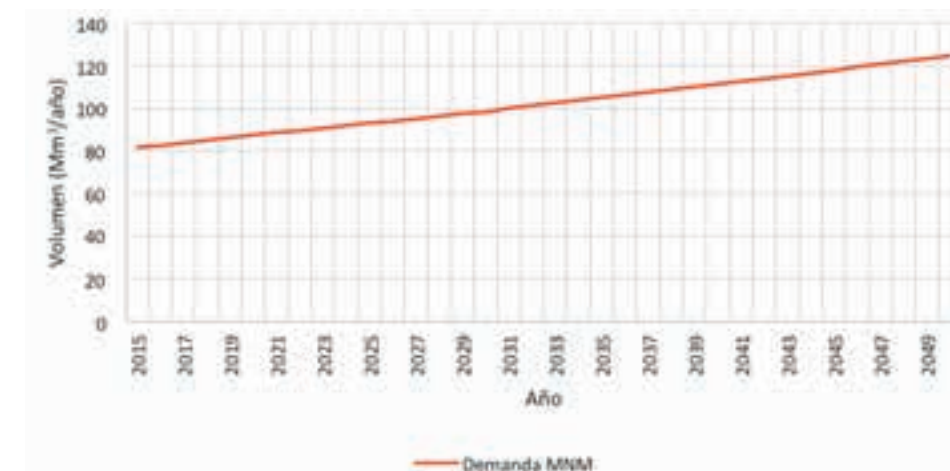
En el caso más desfavorable correspondiente a un porcentaje de ANC del 40%, se tendrá necesidad de 24.1 m³/s, lo que implica aumentar la oferta sostenible en al menos 11.0 m³/s. Esto hace evidente la necesidad de incorporar nuevas fuentes de abastecimiento, además de poner en marcha estrategias de uso eficiente del recurso.

Para el caso de los municipios no metropolitanos del estado, se realizaron proyecciones de los volúmenes demandados, en función de la proyección de la población hasta 2050, tal como se muestra en la figura 2.19. La evolución de la demanda mostrada haría necesaria la consideración de volúmenes adicionales a través de nuevas fuentes de abastecimiento. A 2050 el volumen requerido sobrepasaría los 120,000,000 de m³ al año, lo que representa del orden de 3.8 m³/s en promedio.

¹²El concepto de oferta sostenible se aborda en el capítulo 3. Este concepto implica una cantidad segura de agua para un nivel de confiabilidad determinado. Incrementar la oferta sostenible en 8.6 m³/s no equivale a incorporar nuevas fuentes que en promedio agreguen la misma cantidad de agua al sistema de SADM, sino que lo tienen que hacer de forma sostenible.

Figura 2.19
Proyección de la demanda en municipios no metropolitanos sin considerar esquema de reducción de pérdidas.

Fuente: Centro Internacional del Agua (2017c).



Referencias

Aguilar, I., Sisto, N. P., & Ramirez, A. I. (2015). Agua para Monterrey. Logros, retos y oportunidades. Monterrey: Agencia Promotora de Publicaciones.

Baerenklau, K., Schwabe, K., Dinar, A. (2013). Do Increasing Block Rate Water Budget Reduce Residential Water Demand? A Case Study in Southern California. Water Science and Policy Center, University of California, Riverside.

Centro Internacional del Agua (2017a). Diagnóstico simplificado de la situación actual en el uso del agua en el ámbito agropecuario en el estado de Nuevo León. UANL, preparado para el Fondo del Agua Metropolitano de Monterrey

Centro Internacional del Agua (2017b). Diagnóstico simplificado de la situación actual en el uso del agua en la industria en el Estado de Nuevo León. UANL, preparado para el Fondo del Agua Metropolitano de Monterrey.

Centro Internacional del Agua (2017c). Diagnóstico simplificado de la situación de los servicios de agua potable, alcantarillado sanitario y saneamiento por región en el estado de Nuevo León. UANL, preparado para el Fondo del Agua Metropolitano de Monterrey.

CONAGUA. (2016). Estadísticas del agua en México. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CONAGUA. (2017). Registro Público de Derechos de Agua. Ciudad de México: REPA.

CONAPO. (2012). Proyecciones de la población de México 2010-2050. Ciudad de México: Consejo Nacional de Población.

Gobierno NL. (2016). Gobierno del Estado de Nuevo León. Recuperado el 07 de 11 de 2017, de <http://www.nl.gob.mx/proyectos/redimensionamiento-y-modernizacion-del-distrito-de-riego-004-don-martin>

INEGI. (2014). Encuesta intercensal. Ciudad de México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Marzano, R., Padula, S., Garrone P., Harou, J., Storni, B., Holt, M., Maziotis, A. (2015). Review of Pricing Instruments. SH2 The Smarth20 Project.

Navarro, F. (2016). Análisis y Pronóstico de Largo Plazo de la Demanda de Agua Potable de Monterrey, su Área Urbana y Conurbada. Fondo del Agua Metropolitano de Monterrey, Monterrey.

Navarro, F. (2017). Herramienta de optimización tarifaria de agua potable en la ciudad de Monterrey y su área metropolitana. Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey.

Ramírez, A., Sandoval, R., Gómez, D. (2016). Estimación de la oferta sostenible de agua en el AMM. Tecnológico de Monterrey y Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey.

SADM. (2016). Anuario estadístico sobre la operación de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D. en el Área Metropolitana de Monterrey. Monterrey: Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey.

SADM. (2017). Anuario estadístico sobre la operación de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey I.P.D. Monterrey: Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey.

SIAP. (2016). Cierre de siembras histórico. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Ciudad de México: SAGARPA .

Tiger, M., Hughes, J., Eskaf, S. (2014). Designing Water Rate Structures for Conservation & Revenue Stability. EFC - University of North Carolina, Chapel Hill.



III. LA OFERTA ACTUAL DE AGUA¹

El AMM se ubica en la cuenca del río San Juan, dentro de la Región Hidrológica 24 Bravo-Conchos, en una región semidesértica con poca disponibilidad natural de agua, debido a la precipitación escasa e irregular, tanto en tiempo como en espacio (figura 3.1). De acuerdo con datos oficiales publicados por CONAGUA (2016), para Nuevo León la precipitación media anual en el periodo 1981-2010 alcanza 542 mm, lo cual ubica la entidad federativa en una zona con una oferta limitada de agua.

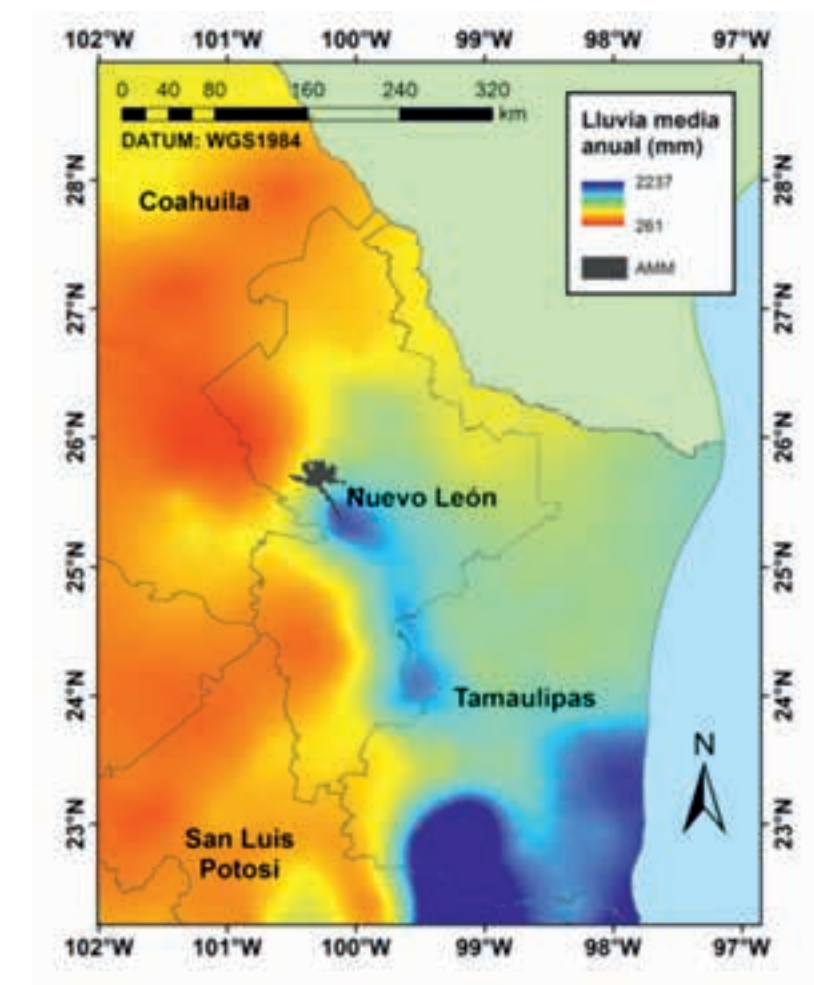


Figura 3.1
Lluvia media anual (mm) para el periodo 1902-2011.
Fuente: Aguilar et al. (2015).

EL AGUA POTABLE DEL AMM PROVIENE APROXIMADAMENTE EN UN 60% DE FUENTES SUPERFICIALES Y 40% DE SUBTERRÁNEAS.

¹El contenido de esta sección se basa en Ramírez en el documento "Estimación de la oferta sostenible de agua en el AMM". El Nivel de Aguas Máximas Ordinarias (NAMO) define el estado lleno de un embalse.

3.1 EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO AL AMM

El abastecimiento de agua potable al AMM proviene actualmente de fuentes tanto superficiales como subterráneas. La importancia del tipo de fuente se ha ido cambiando al paso del tiempo, puesto que antes de 1965 las fuentes subterráneas suministraban la totalidad del agua utilizada. Paulatinamente, la entrada en operación de fuentes superficiales ha ido propiciando el uso conjunto y más balanceado de los sistemas (figura 3.2). A la fecha, y desde la entrada en operación de la presa El Cuchillo, el suministro proviene aproximadamente en un 60% de fuentes superficiales y el 40% restante de subterráneas.

Esto no quiere decir que en la actualidad se demanda menos agua de fuentes subterráneas que antes, sino que ésta es menor desde la entrada en operación de las tres presas de las que se alimenta el sistema manejado por SADM.

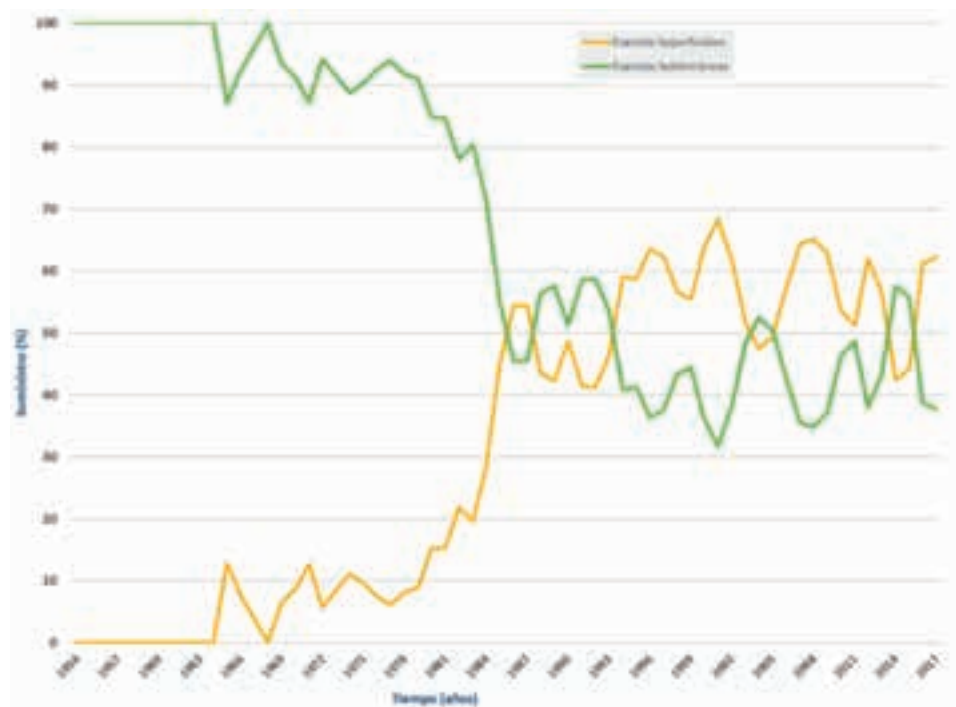


Figura 3.2
Porcentaje de suministro de agua por tipo de fuente, AMM 1954-2015.
Fuente: Aguilar et al. (2015)

3.2 FUENTES SUPERFICIALES

Entre las fuentes superficiales para el abastecimiento de agua al AMM se cuentan la Presa Rodrigo Gómez - La Boca (construida en 1963 e incorporada al sistema desde 1965), la Presa José López Portillo - Cerro Prieto (en operación desde 1984) y la Presa El Cuchillo-Solidaridad (funcionando desde 1994). La figura 3.3 muestra su ubicación geográfica.

La presa Marte R. Gómez, si bien no contribuye directamente al abastecimiento del AMM, participa implícitamente a través del cumplimiento de la condición por la cual se realiza el trasvase de agua de la presa El Cuchillo precisamente a Marte R. Gómez.

A continuación se describen en forma breve las características generales de cada fuente, así como los gastos medios de extracción, de acuerdo con información proporcionada por la CONAGUA a través del Organismo de Cuenca Río Bravo.

La presa La Boca, ubicada a unos 30 km del AMM, puede almacenar hasta 39.5 hectómetros cúbicos (hm^3) a su Nivel de Aguas Máximas Ordinarias (NAMO)² de los cuales 34 hm^3 son útiles,³ y constituye una fuente importante al aportar históricamente un caudal promedio de 1.38 m^3/s ,⁴ calculado con información de 2005 a 2014 (CONAGUA, 2016a). La asignación⁵ que SADM tiene de esta presa equivale a un gasto promedio de 0.92 m^3/s .

La presa Cerro Prieto se encuentra a unos 20 km al noreste de Linares, N.L., y a unos 135 km de Monterrey. Su construcción terminó en 1984 y desde entonces suministra agua al AMM. Su capacidad útil asciende a los 249 hm^3 aunque a su NAMO puede almacenar 300 hm^3 ; su aportación histórica alcanza un promedio de 2.056 m^3/s , calculada con una base de diez años a partir de 2005 (CONAGUA, 2016b). Esta presa se ubica en la cuenca del río San Fernando, por lo que realiza un trasvase a la cuenca del río San Juan. El gasto medio histórico de Cerro Prieto es de 1.90 m^3/s calculado en el periodo 1983 a 2016. La asignación que SADM tiene de la presa Cerro Prieto equivale a un gasto promedio de 5.33 m^3/s .

Finalmente, la presa El Cuchillo se localiza sobre el río San Juan en el municipio de China, N.L., a unos 120 km del AMM. Puede almacenar al NAMO 1,123 hm^3 , quedando 921 hm^3 útiles. A partir de su entrada en operación en 1994, se ha constituido como la fuente superficial más importante para la zona metropolitana. El gasto medio de extracción desde la entrada en funcionamiento de la presa es de 2.60 m^3/s , aunque en el periodo de 2005 a 2014, el gasto medio promedio de extracción ascendió a 2.95 m^3/s (CONAGUA, 2016c). La asignación que tiene SADM de esta presa equivale a un gasto promedio de 4.78 m^3/s .

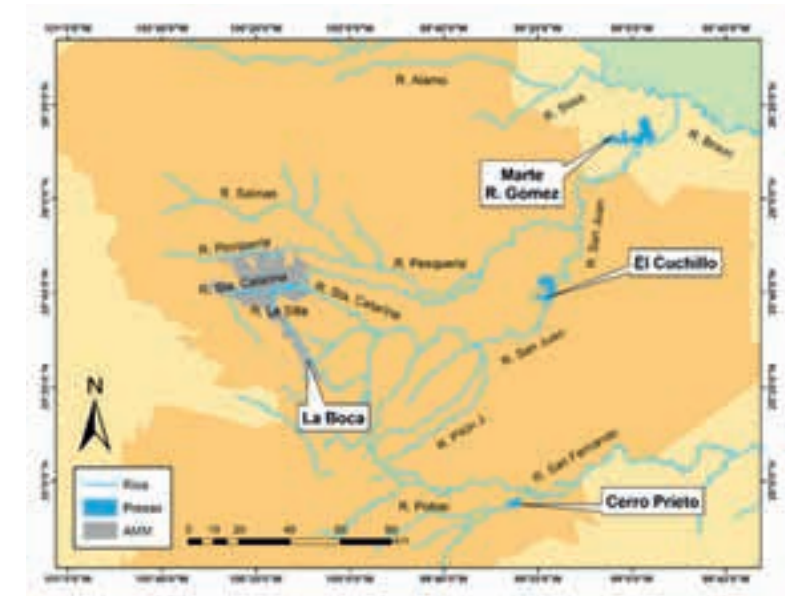


Figura 3.3
Infraestructura de abastecimiento de aguas superficiales.
Fuente: Aguilar et al. (2015).

²El Nivel de Aguas Máximas Ordinarias (NAMO) define el estado lleno de un embalse.

³El volumen útil es la capacidad de la presa destinada a la satisfacción de las demandas. Existen un volumen destinado a los azolves y la operación adecuada de las obras de toma que si bien corresponde a una capacidad, no es utilizable.

⁴La asignación o concesión de explotación, uso y aprovechamiento de agua se realiza en volumen con una base anual. Estas cantidades se han transformado en sus caudales medios equivalentes para que el lector pueda dimensionarlos con mayor facilidad la información.

⁵Cuando se trata de una autorización que CONAGUA otorga a un particular para extraer un volumen determinado de agua, se define como "concesión"; cuando se trata de una autorización a un operador de agua, como SADM, se define como "asignación".

⁶De acuerdo al "Acuerdo del 13 de Noviembre de 1996 para el Aprovechamiento de las Aguas del Río San Juan", en el anexo 1 se establece que Nuevo León tiene autorización para construir un segundo acueducto, por 5 m^3/s adicional de la presa El Cuchillo; sin embargo, se encuentra pendiente la construcción de un emisor de la planta de aguas residuales Dulces Nombres hasta la presa Marte R. Gómez, mediante el cual, Nuevo León entregaría las aguas residuales tratadas.

La figura 3.4 muestra la evolución de las extracciones de las tres fuentes superficiales. El creciente volumen de extracción se debe al constante crecimiento poblacional y, consecuentemente, de la demanda de agua.

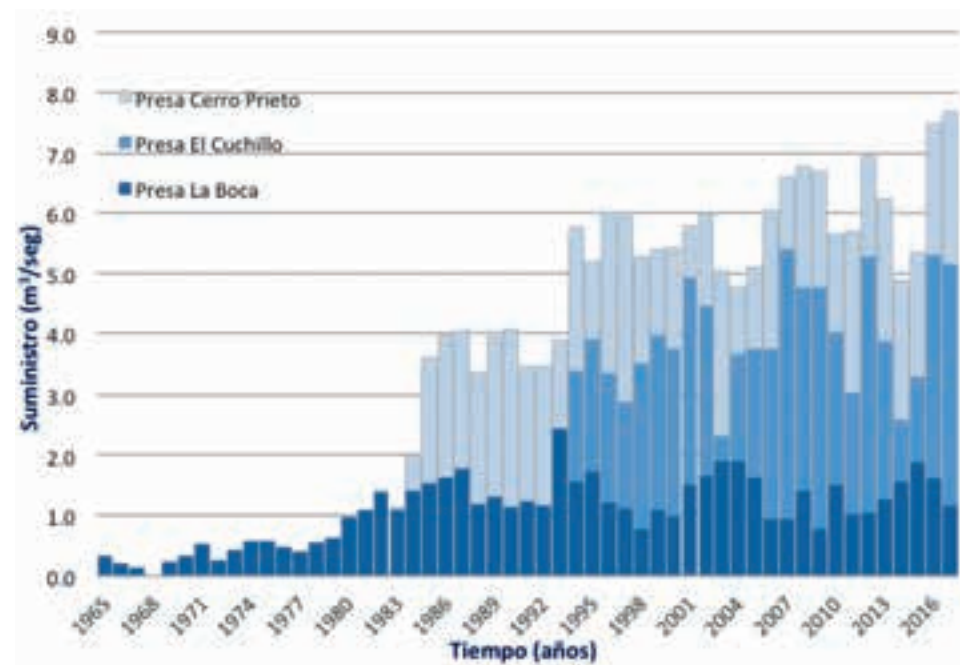


Figura 3.4
Suministro de agua proveniente de fuentes superficiales promedio, en m³/s, para el periodo 1965 a 2017. Acumulación de las tres fuentes por año.
Fuente: Ramírez et al. (2017)

3.3 FUENTES SUBTERRÁNEAS

Las fuentes de abastecimiento de origen subterráneo que complementan el suministro de agua para el AMM corresponden al sistema acuífero Buenos Aires (también conocido como Huasteca), Campo Mina, Sistema Santiago (Cañón del Huajuco), Pozos del Área Metropolitana de Monterrey (someros y profundos), Topo Chico, Sistema Elizondo y La Estanzuela. En el caso del Cañón del Huajuco y Estanzuela, en ellos se incluyen el sistema San Francisco y los túneles Cola de Caballo I y II.

El sistema opera actualmente con pozos profundos, de entre 700 m y 1,000 m de profundidad en los acuíferos Buenos Aires, Mina y AMM; con pozos someros de menos de 100 m de profundidad, en el AMM; un manantial (Estanzuela); tres túneles (Cola de Caballo I y II y San Francisco) y una galería filtrante en La Huasteca.

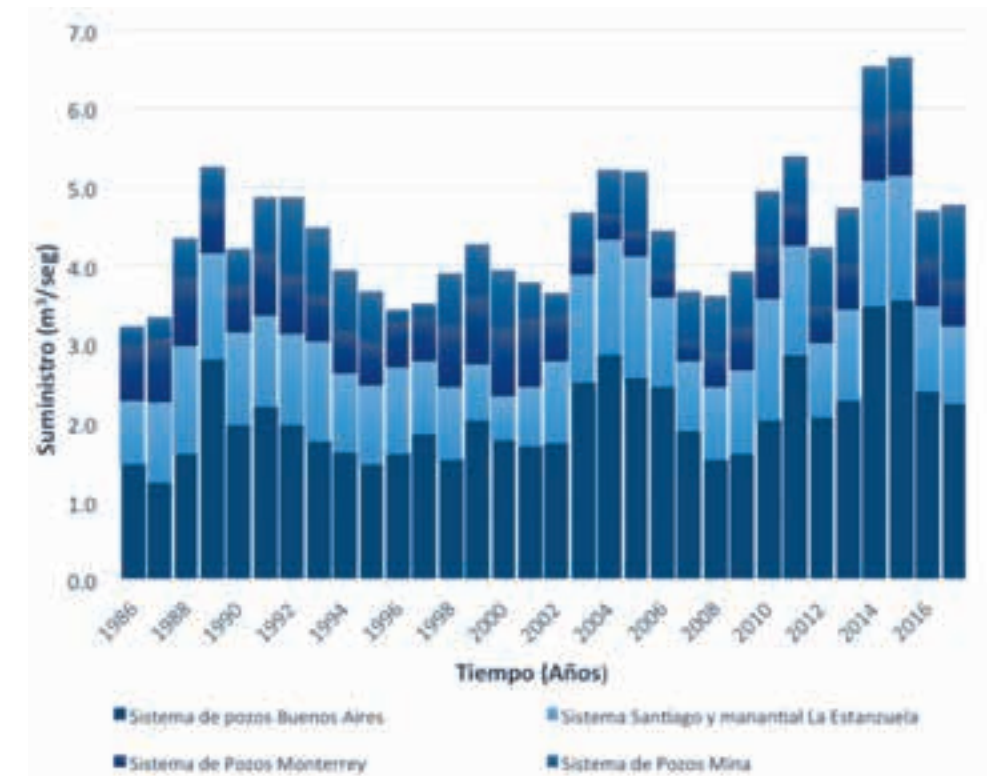
Por lo que respecta a los gastos de extracción de las fuentes subterráneas, calculados con información del periodo 1986 a 2017, se tiene que del Campo Buenos Aires se han explotado en promedio 2.08 m³/s; del sistema Santiago y La Estanzuela en 1.13 m³/s; del AMM 0.62 m³/s y del Campo Mina 0.60 m³/s.

Si bien se cuenta con una asignación de volumen, de los sistemas Campo Topo Chico y Los Elizondo se han dejado de realizar extracciones por problemas asociados con la calidad del agua y por la relación costo-beneficio. La figura 3.5 muestra la evolución de dichas extracciones de origen subterráneo. Nuevamente, es importante reconocer que éstas están asociadas tanto a la dinámica poblacional, como a las condiciones climatológicas que inciden sobre todo en tiempos cortos sobre las fuentes superficiales.

Figura 3.5

Suministro de agua de fuentes subterráneas para el AMM, durante el periodo 1986 a 2017. Promedio en m³/s. Acumulación en barras para los cuatro sistemas por año.

Fuente: Ramírez et al. (2017)



3.4 ASIGNACIONES VIGENTES PARA EL AMM

En la tabla 3.1 se muestran las asignaciones otorgadas por la CONAGUA a SADM para el abastecimiento público – urbano. El total anual asciende a 510.28 hm³, lo que equivale a un gasto medio anual concesionado de 16.18 m³/s. El 68% del volumen asignado proviene de fuentes superficiales y el 32% restantes de subterráneas. De acuerdo con la información presentada con anterioridad, históricamente el gasto de extracción real de la presa La Boca ha sido mayor que el concesionado, mientras que de las presas El Cuchillo y Cerro Prieto las extracciones han sido sensiblemente menores a lo autorizado.

Es importante subrayar que, de forma agregada, ni aún en años críticos en cuanto a extracciones de agua potable, se ha sobrepasado la cantidad total asignada.

Tabla 3.1

Asignaciones otorgadas a SADM con fines de abastecimiento de agua.

Fuente: Ramírez et al. (2016)

| Tipo | Fuente | Volumen anual concesionado por año (m ³) | Gasto medio concesionado (m ³ /s) |
|---------------------------------------|---------------------------------|--|--|
| Superficial | Presa La Boca | 29,000,000 | 0.92 |
| | Presa Cerro Prieto | 168,000,000 | 5.33 |
| | Presa El Cuchillo | 150,742,000 | 4.78 |
| Total de fuentes superficiales | | 347,742,000 | 11.03 |
| Subterránea | Campo Mina | 26,477,468 | 0.84 |
| | Campo Buenos Aires | 62,667,677 | 1.99 |
| | Cañón Del Huajuco (Santiago) | 34,689,600 | 1.10 |
| | Área Metropolitana de Monterrey | 27,685,139 | 0.88 |
| | Campo Topo Chico | 2,836,663 | 0.09 |
| | Manantial La Estanzuela | 6,307,000 | 0.20 |
| | A. Los Elizondo | 1,883,000 | 0.06 |
| Total de fuentes subterráneas | | 162,546,547 | 5.15 |
| Total | | 510,288,547 | 16.18 |

3. 5 OFERTA DE AGUA PARA EL AMM

El caudal que escurre por un cuerpo de agua superficial es variable por naturaleza. En el caso de un aprovechamiento hidráulico, el almacenamiento contribuye a incrementar el volumen mínimo disponible por efecto de la regulación de dicho caudal variable. Existen diversos conceptos que intentan establecer la cantidad de agua que puede extraerse de un embalse con una cierta medida del cumplimiento de éste, por ejemplo:

- **Caudal firme:** Producción mínima que puede garantizar un embalse a lo largo de su vida (WMO, 2012). El caudal firme es a veces llamado caudal garantizado (WMO, 2016).
- **Caudal sostenible:** Aquel que puede ser obtenido de manera estable sin generar "consecuencias negativas inaceptables".

Es posible determinar el volumen máximo anual que podría haberse extraído sin déficit de una fuente, dado un volumen determinado y un comportamiento histórico de los caudales de entrada. Dicho volumen anual equivaldría al gasto firme que puede aportar un embalse en particular. Para analizar las condiciones de operación en cuanto a almacenamiento y caudales de extracción, pérdidas por infiltración, evaporación y excedencias, suele hacerse un análisis de funcionamiento de vaso, partiendo del principio de conservación de masa, con los datos de capacidad del embalse y distribución de las salidas o extracciones, además de las entradas.

Para el desarrollo de este ejercicio de planeación se ha definido el concepto de "gasto sostenible" en términos de la confiabilidad del sistema, medida en porcentaje, y relativo a un volumen de agua previamente definido. Así, un sistema que extrae, por ejemplo, 10 m³/s en promedio, y que cuenta con una confiabilidad del 100%, significa que el sistema siempre podrá extraer de las fuentes al menos 10 m³/s. Ese mismo sistema, con una confiabilidad del 95%, conllevaría a que en el 5% por ciento de las ocasiones (meses, por ejemplo), el sistema no sería capaz de dar los 10 m³/s. Lo anterior no implica que el sistema no aporte agua, sino que lo que aporta no alcanza el gasto previamente definido (10 m³/s), por lo que la diferencia deberá ser satisfecha por otros medios, o ante la imposibilidad de hacerlo, a través de sobreexplotación temporal de las fuentes, o a través de esquemas de gestión del déficit.

Para el Plan Hídrico de Nuevo León 2050, y particularmente para la evaluación de las fuentes superficiales actuales que abastecen el sistema de SADM, se ha tomado como criterio la determinación del gasto con confiabilidades de 95, 97 y 99%.

En el caso de las aguas subterráneas, el "rendimiento seguro" (en inglés "safe yield") es un concepto similar al del gasto firme. Inicialmente se consideraba que el volumen de recarga media anual del acuífero marcaba la extracción "segura"; sin embargo, eso acarrea consecuencias accidentales o no deseadas como la desecación de manantiales o ríos, la intrusión salina en acuíferos costeros o la subsidencia del suelo, entre otros (Sophocleous, 1997). Por lo anterior, hoy se utiliza el concepto de rendimiento sostenible, definido como "el desarrollo y uso del agua subterránea de forma que el rendimiento puede ser mantenido por un periodo indefinido sin causar consecuencias ambientales, económicas o sociales inaceptables" (Alley et al., 1999, citado en Smith, Hunt, & Holland, 2007, pág. 2).

La determinación del rendimiento sostenible de un acuífero resulta compleja por distintas razones. Una de ellas es que la recarga media anual es normalmente el promedio de condiciones registradas en un periodo relativamente largo, mientras que en un año determinado, la recarga efectiva puede ser menor o mayor a dicho promedio, por lo que una extracción fija puede generar en el

corto plazo los efectos indeseables que se busca evitar con un aprovechamiento basado en un rendimiento sostenible.

Por lo anterior, en este documento se toma como base un rendimiento sostenible definido por el valor medio de recarga natural menos la descarga natural comprometida, conforme a la norma oficial NOM-011-CONAGUA-2015 (DOF, 2015a), únicamente para propósitos de planificación de largo plazo. Sin embargo, la operación de las fuentes de abastecimiento subterráneas puede responder en la realidad a un manejo adaptivo (Maimone, 2004), basado en mantener un margen de variación en el almacenamiento mediante patrones de bombeo variables. Lo anterior es particularmente importante si se toma en cuenta la distinta naturaleza de los acuíferos de la región en estudio, donde lo mismo se explotan aquellos en medio granular o poroso, como fisurados o cársticos. Estos últimos son operados por SADM y CONAGUA bajo un régimen de explotación que se ajusta a los niveles observados, de manera que se conserve en el largo plazo un nivel medio objetivo.

Para definir, por lo tanto, el rendimiento sostenible promedio de los acuíferos en estudio, utilizamos el criterio de la NOM-011-CONAGUA-2015 considerando que, en el largo plazo, debe mantenerse una explotación igual a la recarga natural menos la descarga natural comprometida.

3. 6 DETERMINACIÓN DE LA OFERTA SOSTENIBLE DE AGUA PARA EL AMM

El concepto básico para la estimación de la oferta sostenible se obtiene al encontrar los volúmenes o gastos explotables en cada una de las distintas fuentes de abastecimiento con que el AMM cuenta actualmente, asociados con criterios de confiabilidad y sostenibilidad.

El objetivo se establece como el gasto o caudal que se puede extraer de cada fuente para el nivel de confiabilidad específico predeterminado. Esta estimación se realiza en forma diferenciada de acuerdo con el tipo de fuente, ya sea una presa (fuente superficial) o un sistema acuífero (fuente subterránea).

Para el caso de las fuentes superficiales, específicamente las presas La Boca, Cerro Prieto y El Cuchillo, la oferta sostenible se obtuvo mediante la simulación del funcionamiento de las mismas para diferentes niveles de extracción, utilizando la hidrología histórica. Fundamentalmente, los modelos de simulación se operaron iterativamente hasta encontrar el gasto o caudal de extracción constante que proporciona el nivel de confiabilidad deseado.

Para las simulaciones del funcionamiento de los vasos, se han tomado en cuenta como salidas la extracción hacia el AMM las extracciones para riego (con derechos), otras extracciones concesionadas, la evaporación, las filtraciones y, para el caso particular de El Cuchillo, los trasvases hacia la presa Marte R. Gómez. Como se mencionó, se llevaron a cabo simulaciones para encontrar los caudales asociados con el 95%, 97% y 99% de confiabilidad.

Para el caso de las fuentes subterráneas se adoptó como criterio de planificación de largo plazo el de un rendimiento sostenible definido por la diferencia entre la recarga natural menos la descarga natural comprometida, en términos de la NOM-011-CONAGUA-2015, ajustándose a los valores oficiales publicados más recientemente (DOF, 2015b). Así, para cada acuífero se ha recopilado la información oficial correspondiente a los estudios de disponibilidad. Dentro de la publicación, se cuenta con una estimación de la recarga natural, la cual ha sido estimada con base en diversos estudios técnicos, tal y como lo expresan las propias SEMARNAT y CONAGUA, y se consigna también el valor de la descarga natural comprometida. Sin embargo, existen títulos de asignación de agua a favor de SADM, los cuales pueden condicionar la extracción al constituirse en un límite

legal para el uso del agua. Esto se ha tomado como una segunda estimación del caudal explotable en forma sostenible. Por último, con fines precisamente de sostenibilidad, se ha tomado como caudal firme el menor entre los dos descritos: la recarga natural menos la descarga natural comprometida y la asignación a SADM. En el caso de los caudales aprovechables de los acuíferos, éstos deben revisarse una vez que se realicen nuevos estudios técnicos. Existen inquietudes válidas por parte de expertos locales de la viabilidad de mayor explotación subterránea, toda vez que, en algunos sistemas, los caudales extraídos históricamente son mayores que los caudales estimados como sostenibles en este estudio e incluso que los concesionados. Sin embargo, esto no puede considerarse como solución a futuro hasta llevar a cabo los estudios mencionados.

En la tabla 3.2 se presentan las estimaciones de la oferta sostenible, tanto para las fuentes de agua superficial como las de agua subterránea. Se observa que la oferta sostenible para una confiabilidad del 97% es solamente 2% menor que la correspondiente a una confiabilidad de 95%. Sin embargo, la oferta asociada con una confiabilidad del 99% es 13% menor. Esto indica que el sistema es mucho más sensible a confiabilidades muy altas, lo cual es muy importante al momento de tomar una decisión sobre el nivel de confiabilidad deseado en el sistema de abastecimiento.

En primera instancia, parece adecuado trabajar con una confiabilidad del 97%, porcentaje con el cual los directivos y personal técnico de SADM están de acuerdo. En este sentido, y debido a que el nivel de demanda está ya en los mismos límites de la oferta sostenible y las proyecciones de la demanda son crecientes, es impostergable la búsqueda de nuevas alternativas de abastecimiento, al mismo tiempo que se deben de realizar esfuerzos de gestión de la demanda.

| Fuente | Gasto sostenible (m ³ /s) | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------|--------------|
| | al 95% | al 97% | al 99% |
| Presa La Boca | 0.81 | 0.73 | 0.66 |
| Presa El Cuchillo | 4.78 | 4.78 | 3.47 |
| Presa Cerro Prieto | 3.78 | 3.63 | 3.43 |
| Total de fuentes superficiales | 9.37 | 9.14 | 7.56 |
| Campo Buenos Aires | 1.8 | 1.8 | 1.8 |
| Cañón Del Huajuco (Santiago) | 0.81 | 0.81 | 0.81 |
| La Estanzuela | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Área Metropolitana de Monterrey | 0.88 | 0.88 | 0.88 |
| Campo Mina | 0.43 | 0.43 | 0.43 |
| Elizondo | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| Topo Chico | 0 | 0 | 0 |
| Total de fuentes subterráneas | 4.18 | 4.18 | 4.18 |
| Total | 13.55 | 13.32 | 11.74 |

Tabla 3.2

Estimación de la oferta sostenible en fuentes de abasto actuales en m³/s para el AMM.

Fuente: Ramírez et al (2016).

3.7 OFERTA DE AGUA EN EL RESTO DEL ESTADO

De acuerdo con la información proporcionada por SADM, a 2016, los municipios no metropolitanos (que cuentan con una población total de 778,460 habitantes) fueron abastecidos por un total de 267 fuentes, dentro de las cuales predominan las de origen subterráneo, con 193; seguidas por las tomas directas de alguno de los acueductos, con 60; y, finalmente, las fuentes superficiales con 14. De dichas fuentes se extrajeron un total de 81.30 millones de metros cúbicos, que representan un caudal medio de 2.57 m³/s (tabla 3.3). Las regiones sur y periférica son las que se encuentran en condiciones más críticas en cuanto al abastecimiento.

Dada la falta de claridad de la información, resulta pertinente llevar a cabo un análisis detallado, a fin de clasificar las fuentes actuales para las localidades de cada municipio y así estar en condiciones de conocer la oferta de agua real en el estado. Para el caso del AMM parece evidente que con el 97% de confiabilidad se cuentan con un promedio anual de 13.32 m³/s, sin embargo, lo que respecta a los municipios no metropolitanos sólo es posible afirmar que a 2016 se suministraron 2.58 m³/s, sin discernir si parte de este último caudal forma parte de la oferta sostenible estimada para el AMM, como parece serlo.

Para el caso de los municipios no metropolitanos es necesario, una vez identificadas las fuentes de abastecimiento, realizar una estimación de la capacidad potencial de las fuentes o mejor aún, cálculos de las ofertas sostenibles para diferentes niveles de confiabilidad.

Tabla 3.3

Fuentes de abastecimiento por regiones y suministro en 2016.

Fuente: Centro Internacional del Agua (2017).

| Región | Municipios | Fuentes por tipo | | | Número de Fuentes | Volumen anual en 2016 (hm ³) | Caudal promedio (m ³ /s) |
|-------------------|------------|------------------|---------------|----------------|-------------------|--|-------------------------------------|
| | | Subterráneas | Superficiales | Toma Acueducto | | | |
| Centro Periférica | 7 | 15 | 1 | 27 | 43 | 22.60 | 0.72 |
| Noreste | 12 | 18 | 3 | 12 | 33 | 6.33 | 0.20 |
| Norociente | 9 | 21 | 4 | 12 | 37 | 18.79 | 0.60 |
| Sur | 6 | 20 | 1 | 0 | 21 | 6.69 | 0.21 |
| Valle del Plón | 7 | 119 | 5 | 9 | 133 | 26.89 | 0.85 |
| Total | 41 | 193 | 14 | 60 | 267 | 81.30 | 2.58 |

Referencias

- Aguilar, I., Sisto, N. P., & Ramirez, A. I. (2015). Agua para Monterrey. Logros, retos y oportunidades. Monterrey: Agencia Promotora de Publicaciones.
- CONAGUA. (2016). Estadísticas del agua en México. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONAGUA. (2016a). Regimen Mensual de la Presa La Boca. Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Rio Bravo, Monterrey.
- CONAGUA. (2016b). Regimen Mensual de la Presa Cerro Prieto. Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Rio Bravo, Monterrey.
- CONAGUA. (2016c). Regimen Mensual de la Presa el Cuchillo. Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Rio Bravo, Monterrey.
- DOF. (05 de febrero de 2015a). Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Obtenido de Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5387027&fecha=27/03/2015&print=true
- DOF. (15 de abril de 2015b). Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican. Recuperado el 15 de abril de 2016, de Diario Oficial de la Federación. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/DOF_20_04_2015_DAS.pdf
- Maimone, M. (2004). Defining and Managing Sustainable Yield. GroundWater. The GroundWater Association, 42, 809-814.
- Ramírez, A., Sandoval, R., Gómez, D. (2016). Estimación de la oferta sostenible de agua en el AMM. Tecnológico de Monterrey y Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey.
- Ramírez, A., Sandoval, R., Gómez, D. (2017). Diagnóstico de la situación actual en el uso de agua en el entorno urbano del AMM y determinación de brechas y acciones a 2050. Tecnológico de Monterrey y Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey.
- SADM. (2016). Anuario estadístico sobre la operación de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D. en el Área Metropolitana de Monterrey. Monterrey: Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey.
- SADM. (2017). Anuario estadístico sobre la operación de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey I.P.D. Monterrey: Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey.
- Smith, B. A., Hunt, B. B., & Holland, K. (2007). Sustainable yield of a jarst aquifer in centrak Texas. Barton Springs/Edwards Aquifer Conservation District. San Antonio TX. Recuperado el 11 de marzo de 2016, de http://bseacd.org/uploads/HR_SustYield_NGWA-Karst_paper_2007.pdf
- Sophocleous, M. (1997). Managing Water Resources Systems: Why "Safe Yield" Is Not Sustainable. GroundWater. The GroundWater Association, 35, 561.
- WMO. (2012). Glosario Hidrológico Internacional No 385. World Meteorological Organization, Ginebra, Suiza.
- WMO. (2016). Glosario Hidrológico Internacional. Recuperado el 05 de Febrero de 2016, de World Meteorological Organization: <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/aglo.htm>



EL REDIMENSIONAMIENTO, COMPACTACIÓN Y TECNIFICACIÓN DE LOS DISTRITOS DE RIEGO, ASÍ COMO SU REASIGNACIÓN DE AGUA, SON ESTRATEGIAS FUNDAMENTALES PARA LA SEGURIDAD HÍDRICA DEL ESTADO.

IV. LA BRECHA FUTURA ENTRE OFERTA Y DEMANDA

Con el fin de avanzar hacia una seguridad hídrica con horizonte a 2050, el estado debe estar preparado para poder satisfacer las demandas de los diferentes sectores. Para ello es importante determinar las brechas que se generarían del presente al horizonte de planeación, de no llevar a cabo ninguna acción. Estas brechas serán precisamente las que habrá que cerrar hacia 2050 de tal forma que no se genere déficit hídrico en ninguno de los sectores.

Con base en la información de las demandas proyectadas por sector presentadas en el capítulo 2 y de la oferta disponible de agua, consignada en el capítulo 3, se presentan las brechas esperadas por sector a 2050. En cada caso se realizan las aclaraciones pertinentes o en su caso, se puntualiza la necesidad de estudios más profundos y detallados.

Como ya se mencionó, el agua utilizada en el estado proviene de dos sistemas distintos: provista por SADM, o en forma autoabastecida a través de asignaciones y concesiones directas a los usuarios. Para el primero de los casos, se consignan las brechas a cubrir en las áreas no metropolitanas y se realiza un análisis más robusto en el caso del abastecimiento al AMM, sobre todo con el objetivo de mantener la confiabilidad del sistema en niveles del 97% como mínimo. En el segundo de los casos, se establecen criterios y comentarios generales, por ejemplo, para el caso del uso agrícola y pecuario.

Uso agrícola y pecuario

En lo que respecta al uso agrícola, ya se mencionó que en el estado de Nuevo León existen dos distritos de riego y cuatro distritos de desarrollo rural (DDR) (SAGARPA, 2015), mismos que conforman el sector agrícola organizado. La tabla 4.1 muestra los volúmenes asignados por distrito de riego y DDR. Como se puede observar, el volumen total concesionado a este sector organizado es de 1,542,025,820 m³, lo que equivale a un gasto promedio de 48.9 m³/s. Como referencia, la demanda total del AMM, que es satisfecha a través del sistema de SADM, equivale a un gasto medio de 13.2 m³/s.

Para el caso de los distritos de riego DR031 Las Lajas, DR004 Don Martín y también los distintos DDR, en virtud de que tienen ya asignado un volumen concesionado y a la situación actual predominante de no disponibilidad para nuevos volúmenes, se ha establecido ese mismo como oferta de agua a 2050. De hecho, en el caso del DR004 Don Martín, está en marcha un proceso para el redimensionamiento del distrito. Este proceso, de hecho, representaría una reducción aproximada del 50% en los volúmenes asignados, liberando una cantidad importante de agua para otros usos (Gobierno NL, 2016).

Dado que las cuencas en las que se ubican los distritos de riego se encuentran en veda y sin disponibilidad, no es factible que estas unidades incrementen su volumen de agua disponible. Por lo tanto, la única vía para satisfacer la creciente demanda futura, es a través del incremento de la eficiencia en el riego. En el riego por gravedad la eficiencia de conducción en promedio a nivel nacional varía del 45% al 60% y la de aplicación es del orden del 60% aproximadamente (IMTA, 2010). La inversión en sistemas eficientes de riego, como el riego por goteo, aspersión, e inclusive el cambio de riego a cielo abierto a métodos eficientes como la hidroponía, es fundamental para garantizar la productividad y eficiencia del campo en Nuevo León. Existen experiencias exitosas en México de la tecnificación del campo. Una de ellas es el DR005 las Delicias, en Chihuahua, en donde se estimó un ahorro en el uso del agua de 63,450,000 m³ y un incremento en la productividad de 124,600 toneladas anuales (Lujan y Kelly, 2003).

| DR, módulo o DDR | Volumen total concesionado (m ³ /año) |
|------------------------------------|--|
| Distrito de riego 031 "Las Lajas" | 24,000,000 |
| Distrito de Riego 004 "Don Martín" | 193,766,000 |
| DDR Anáhuac | 286,662,452 |
| DDR Apodaca | 278,822,312 |
| DDR Galeana | 182,756,538 |
| DDR Montemorelos | 576,018,518 |
| Total | 1,542,025,820 |

Tabla 4.1
Volumen actual concesionado (m³/año) en Distritos de Riego y Distritos de Desarrollo Rural en Nuevo León.

Fuente: Centro Internacional del Agua (2017).

Uso urbano (doméstico, público e industrial-comercial)

En cuanto al uso doméstico se refiere, para los municipios no metropolitanos se tiene la información resumida en la tabla 4.2. En ella se muestra la demanda por región proyectada a 2050. En total, a 2050 se requerirá de incorporar a los sistemas 1.36 m³/s en forma adicional, equivalentes a 43,062,894 m³. Como se comentó anteriormente, es necesario llevar a cabo estudios más detallados para determinar de mejor manera la oferta sostenible de agua y definir con mayor precisión la brecha futura en ese entorno.

| Región | Oferta actual | Demanda a 2050 | Brecha por cubrir a 2050 | |
|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------------|---------------------|
| | m ³ /año | | m ³ /año | m ³ /año |
| Centro periférica | 22,585,195 | 43186073 | 20,600,878 | 0.65 |
| Noreste | 6,333,641 | 7583493 | 1,249,852 | 0.04 |
| Noroeste | 18,790,211 | 26813303 | 8,023,092 | 0.25 |
| Sur | 6,694,214 | 9084355 | 2,390,141 | 0.08 |
| Valle del Pílon | 26,889,474 | 37688405 | 10,798,931 | 0.34 |
| Total | 81,292,735 | 124,355,629 | 43,062,894 | 1.37 |

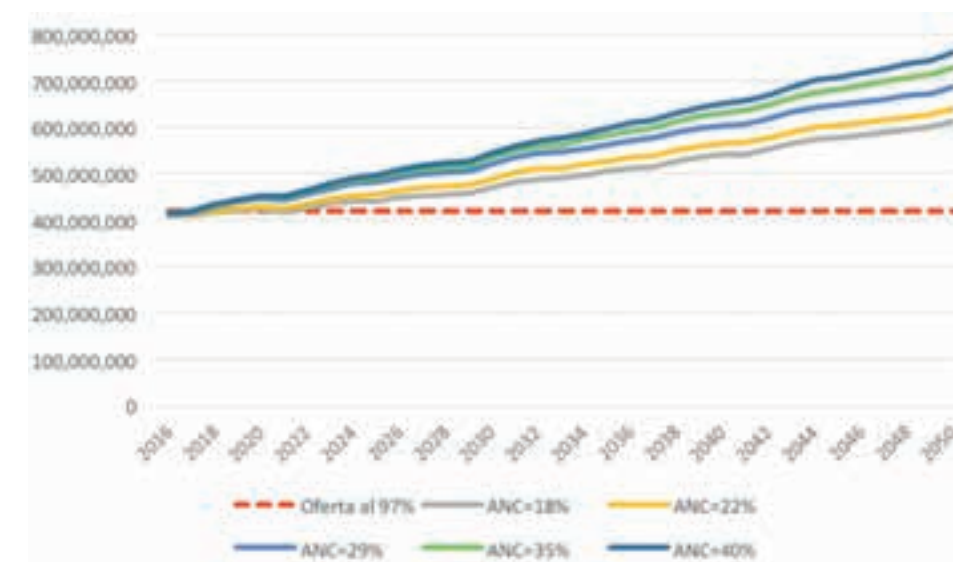
Tabla 4.2
Proyección de la demanda a 2050 para el uso doméstico por región en los municipios no metropolitanos.

Fuente: Centro Internacional del Agua (2017).

Asimismo, la figura 4.1 ilustra la evolución de la demanda en el AMM para diferentes niveles de ANC así como la oferta sostenible para una confiabilidad del 97%. Con esta proyección, para el año 2050, el AMM estará requiriendo más de 760 millones de metros cúbicos por año, si el ANC aumenta a 40%, y cerca de 611 millones de metros cúbicos si el ANC puede reducirse al 18 %.

Figura 4.1
Evolución estimada de la demanda y brechas a cubrir en el AMM (m³) de acuerdo con los niveles del ANC y una oferta sostenible con una confiabilidad del 97%.

Fuente: Elaboración propia con datos de Navarro (2016) y Ramírez et al (2016).



En la tabla 4.3 se muestran las brechas esperadas para el AMM a 2050 para los diferentes niveles de ANC. La oferta sostenible se ha distribuido por segmento (doméstico, público e industrial-comercial) en forma proporcional a las demandas. De manera agregada y de acuerdo con el nivel de ANC, las brechas a cubrir ascienden a 6.05, 6.92, 8.44, 9.72 y 10.79 m³/s para porcentajes de ANC de 18, 22, 29, 35 y 40% respectivamente. En el caso más desfavorable analizado, con un porcentaje de ANC de 40%, a 2050 será necesario realizar acciones que permitan incrementar la oferta en más de 340 millones de m³ adicionales, o en términos de gasto promedio, 10.79 m³/s.

Tabla 4.3.
Brechas a cubrir en 2050 para el AMM (en m³) de acuerdo con los niveles del ANC y una oferta sostenible con una confiabilidad del 97%.

Fuente: Elaboración propia con datos de Navarro (2016) y Ramírez et al. (2016)

| Oferta sostenible al 97% de confiabilidad (m ³) | Segmento | | | Total (m ³) | Total (m ³ /s) | |
|---|-------------|-------------|----------------------|-------------------------|---------------------------|-------|
| | Doméstico | Público | Industrial-Comercial | | | |
| | 188,956,212 | 203,016,807 | 28,086,501 | 420,059,520 | 13.32 | |
| Demanda a 2050 (m ³) | ANC=18% | 274,158,482 | 295,782,334 | 40,846,448 | 610,787,264 | 19.37 |
| | ANC=22% | 286,496,919 | 309,093,948 | 42,684,733 | 638,275,600 | 20.24 |
| | ANC=29% | 307,977,661 | 332,268,953 | 45,885,115 | 686,131,729 | 21.76 |
| | ANC=35% | 326,176,088 | 351,902,754 | 48,596,471 | 726,675,313 | 23.04 |
| | ANC=40% | 341,341,443 | 368,264,254 | 50,855,934 | 760,461,631 | 24.11 |
| Brecha a cubrir a 2050 (m ³) | ANC=18% | 85,202,270 | 92,765,527 | 12,759,947 | 190,727,744 | 6.05 |
| | ANC=22% | 97,540,707 | 106,077,141 | 14,598,232 | 218,216,080 | 6.92 |
| | ANC=29% | 119,021,449 | 129,252,146 | 17,798,614 | 266,072,209 | 8.44 |
| | ANC=35% | 137,219,876 | 148,885,947 | 20,509,970 | 306,615,793 | 9.72 |
| ANC=40% | 152,385,231 | 165,247,447 | 22,769,433 | 340,402,111 | 10.79 | |

La información de la tabla 4.3 indica los caudales que deberían proporcionarse al AMM para las brechas generadas. Esa sería precisamente la cantidad de agua que debería ser proporcionada mediante la incorporación de nuevas fuentes de abastecimiento, en el caso en que la brecha se cubra totalmente con tal acción. En el estado deseable, parte de estas brechas deberán ser cubiertas por acciones no estructurales, lo cual redundará en la necesidad de incorporar una cantidad menor de agua en el futuro.

En este sentido, proyectos orientados a la gestión de la demanda como los enfocados en la reducción del ANC cobran especial relevancia. Recuperar, por ejemplo, 1 m³/s a través de la mejora en la eficiencia de la red, recuperando fugas, mejorando la medición, etc., equivale en términos de ANC a una reducción de cinco puntos porcentuales. Por esta razón la disminución del ANC debe ser siempre considerado a la par, o inclusive antes de cualquier expansión de infraestructura de abastecimiento. El desarrollo del Plan Hídrico Nuevo León 2050 ha sido congruente con este aspecto considerándolo como una de las alternativas a evaluar.

Referencias

- Centro Internacional del Agua (2017). Diagnóstico simplificado de la situación actual en el uso del agua en el ámbito agropecuario en el estado de Nuevo León. UANL, preparado para el Fondo del Agua Metropolitano de Monterrey.
- Luján-Álvarez, C., Kelly, M. E., (2003). Agricultural irrigation conservation projects in the Delicias, Chihuahua irrigation district: a report on public participation, certification and early implementation. Environmental Defense.
- Navarro, F. (2016). Análisis y Pronóstico de Largo Plazo de la Demanda de Agua Potable de Monterrey, su Área Urbana y Conurbada. Fondo del Agua Metropolitano de Monterrey, Monterrey.
- Ramírez, A., Sandoval, R., Gómez, D. (2016). Estimación de la oferta sostenible de agua en el AMM. Tecnológico de Monterrey y Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey.



EN VIRTUD DE QUE LAS DEMANDAS PROYECTADAS PARA EL FUTURO SON SUPERIORES A LA OFERTA TOTAL SOSTENIBLE, SI NO SE LLEVA A CABO ACCIÓN ALGUNA, EL DESBALANCE ENTRE OFERTA Y DEMANDA SE IRÁ INCREMENTANDO.

V. ALTERNATIVAS PARA CUBRIR LA BRECHA¹

En virtud de que las demandas proyectadas para el futuro son superiores a la oferta actual, y también a la oferta total sostenible, con el paso del tiempo, si no se lleva a cabo acción alguna, el desbalance entre oferta y demanda se irá incrementando. A fin de estar en posibilidades de alcanzar ese balance es preciso llevar a cabo una serie de acciones a través del tiempo con el fin de cubrir las brechas generadas.

Para ello se puede proceder de dos formas: incrementando la oferta de agua y/o reduciendo la demanda. Por supuesto, existen maneras combinadas en las que se realizan acciones en estas dos dimensiones a fin de buscar optimizar los recursos. En un sentido deseable, tanto desde una perspectiva ambiental como financiera, es preferible mejorar la eficiencia en el uso y consumo del agua, antes que buscar incrementar la oferta de agua explotando nuevas fuentes. Esto, sin embargo, y ante el crecimiento acelerado de las metrópolis, puede subsanar las brechas o al menos reducirlas en el corto plazo. Si la demanda del agua crece en forma importante, las acciones orientadas a la gestión de la demanda pueden ser insuficientes para cubrir las necesidades, haciendo precisa la incorporación de nuevas fuentes de abastecimiento.

Para los fines del Plan Hídrico N.L. 2050, el enfoque se centró en las acciones necesarias para cubrir las brechas futuras para el caso del AMM. Sin embargo, y a pesar de no estar ubicado en el área metropolitana, tanto el uso del agua en la agricultura en N.L., como el abastecimiento en la zona no metropolitana son dos aspectos de gran importancia para el aseguramiento del abasto de agua en el largo plazo. Para estos dos últimos casos, se presentan aquí solamente comentarios generales. Así, este capítulo aborda cinco apartados.

El primero trata las alternativas para el incremento de la oferta para el abastecimiento; el segundo se refiere a opciones para la gestión de la demanda; el tercer componente aborda la eficiencia del sistema; el cuarto, versa sobre la posible reducción del porcentaje de ANC; y, finalmente, en el quinto apartado se aborda la potencial recuperación de volúmenes a través del incremento de la eficiencia del uso del agua en la agricultura, así como su asignación.

¹El contenido de esta sección se basa parcialmente en los documentos "Análisis de alternativas para abastecimiento de agua potable para la Zona Metropolitana de Monterrey", "Herramienta de optimización tarifaria de agua potable en la ciudad de Monterrey y su área metropolitana", "La conservación de agua. Una primera aproximación a su aplicación en el área metropolitana de Monterrey", "Programas enfocados a generar una actitud de conservación de agua en el uso doméstico. Una perspectiva de la economía del comportamiento", mismos que fueron desarrollados en el contexto de este Plan Hídrico. La liga a los reportes completos se encuentra en el Anexo A de este documento.

Abastecimiento al AMM

El abastecimiento al AMM se realiza a través de la explotación de fuentes tanto superficiales como subterráneas que obedecen a distintas dinámicas naturales. Previamente se mostraron las estimaciones de la oferta sostenible de agua para distintos niveles de confiabilidad. Los estudios realizados marcan una disponibilidad sostenible de caudales medios (con base anual) de 13.55 m³/s, 13.32 m³/s y 11.74 m³/s, para niveles de confiabilidad de 95, 97 y 99% respectivamente. Por otro lado, la demanda a 2016 para el AMM se encontraba precisamente alrededor del caudal al 95% de confiabilidad, por lo cual es necesario buscar alternativas orientadas a continuar garantizando el nivel de servicio en el suministro de agua potable.

Para un escenario similar al actual en cuanto a ANC y para la demanda esperada, al año 2050 se requerirán al menos de 8.44 m³/s adicionales en forma media sostenida. Esto representa un gran desafío, sobre todo teniendo en cuenta la variabilidad climática que ya observamos y la incertidumbre que esto implica.

Incremento de la oferta

Para la integración del catálogo potencial de fuentes de abastecimiento para el eventual incremento de la demanda, se tomó como base el documento Plan integral para el abastecimiento de agua potable para el Área Metropolitana de la ciudad de Monterrey, N.L. (PIAAPAMM), desarrollado por SADM y CONAGUA en el año 2000. Este documento incluye 16 alternativas de fuentes subterráneas, y nueve superficiales, con caudales potenciales entre 0.2 y 5.0 m³/s.

Asimismo, se tuvo en consideración el Análisis de alternativas de fuentes de abastecimiento a la Zona Metropolitana de Monterrey, N.L., desarrollado por una empresa consultora para SADM en 2011. En dicho documento, y bajo la premisa de que los acuíferos se encuentran sobreexplotados, se priorizó solamente a las fuentes superficiales, listando ocho opciones con caudales entre 2.10 y 5.0 m³/s. Varias de las fuentes propuestas en este documento se encontraban ya en el PIAAPAMM, sin embargo, destaca la inclusión del acueducto Tampaón-Cerro Prieto y la planta desalinizadora en Matamoros.

Para la integración del inventario posible de fuentes, además se llevaron a cabo varias reuniones con representantes técnicos de las dependencias involucradas en el tema, tanto en el ámbito estatal como federal, así como académicos y especialistas independientes. De este modo, en el proceso estuvieron presentes la CONAGUA, a través del Organismo de Cuenca Río Bravo; el Gobierno del Estado por conducto de la Secretaría de Desarrollo Sustentable; SADM, mediante sus áreas técnicas; el Tecnológico de Monterrey (ITESM) y la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), entre otros.

A través de talleres, se realizaron debates, discusiones y observaciones interdisciplinarias que permitieron discernir entre las alternativas que finalmente se deberían analizar de una manera integrada. Como resultado de este proceso, se estableció una lista inicial de 33 proyectos para el incremento de la oferta, a los cuales se sumaron dos alternativas. Por un lado, se consideró la posibilidad de llevar a cabo un proyecto de inyección inducida de agua residual tratada, hasta por 1 m³/s. Esta alternativa puede considerarse de alguna manera como una fuente de abastecimiento, a la vez que permite la posibilidad de extraer ese caudal del acuífero en el cual se haga la mencionada recarga. Todo esto, una vez salvando los aspectos administrativos y legales que se requieran. Adicionalmente, se ha considerado también la inclusión de un proyecto para la reducción del ANC mediante el cual se puedan recuperar también hasta 1 m³/s. La lista completa de las 35 alternativas se presenta en la tabla 5.1.

| # | Alternativa | Origen de Selección | Tipo de Fuente | Ubicación general | Q _{base} | Q _{extra} |
|-----|--|---------------------|----------------|--|-------------------|--------------------|
| | | | | | [lps] | [lps] |
| 1 | Acueducto Cuchillo II | PIAAPAMM | Superficial | 120 km + 10 km al E de Monterrey | 5,000 | 5000 |
| 2 | Presa Internacional Falcón | PIAAPAMM | Superficial | 138 km al NE del AMM | 5,800 | 5,800 |
| 3 | Presa La Amistad | PIAAPAMM | Superficial | 450 km al NO de Monterrey | 6,500 | 6,500 |
| 4 | Presa Vicente Guerrero | PIAAPAMM | Superficial | 250 km al SE de Monterrey | 5,000 | 5,000 |
| 5 | Presa Pedro J. Méndez | PIAAPAMM | Superficial | 225 km al S de Monterrey | 150 | 2,000 |
| 6 | Presa Real de Borbón | PIAAPAMM | Superficial | 195 km al SE de Monterrey | 150 | 2,600 |
| 7 | Subálveo del Río Píón 2ª Opción-La Unión-Gral. Terán-Ac. Linares-Monterrey | PIAAPAMM | Subterránea | 12 km al NE de General Terán | 500 | ND |
| 8 | Subálveo del Río Conchos en la Confluencia Potosí-Pabillón-Ac. Linares Monterrey | PIAAPAMM | Subterránea | 8 km al NO de Cerro Prieto | 500 | ND |
| 9 | Túnel San Francisco II - Sistema Santiago | PIAAPAMM | Subterránea | 5 km al SO de San Francisco | 320 | ND |
| 10 | Campo de Pozos El Pajonal | PIAAPAMM | Subterránea | 26 km al SO de Monterrey | 300 | ND |
| 11 | Pozos "Congregación Calles" | PIAAPAMM | Subterránea | 2 km al NE Congregación Calles | 250 | ND |
| 12 | Presa La Libertad Acueducto Sur Linares-Monterrey | PIAAPAMM | Superficial | 16 km al SE de Monterrey | 1,500 | ND |
| 13 | Presa La Garita | PIAAPAMM | Superficial | 215 km al S de Monterrey | 1,050 | 6,600 |
| 14a | Sistema Jaumave-El Brinco-Pedro J. Méndez-Real de Borbón-Garita-Campo Amor/Cerro Prieto | PIAAPAMM | Superficial | 345 km al S de Monterrey | 3,550 | 5,000 |
| 14b | Sistema Jaumave-El Brinco-Pedro J. Méndez-Real de Borbón-Garita-Campo Amor/Monterrey | SADM | Superficial | 475 km al S de Monterrey | 3,550 | ND |
| 15 | Proy. Presa Campo Amor | PIAAPAMM | Superficial | 190 km al SE de Monterrey | 300 | 2,600 |
| 16 | Rescatar volúmenes que afloran en AMM | Experto 1 | Subterránea | Metro Zaragoza, Teatro de la Ciudad y Calle Juan Ignacio Ramón | 200 | ND |
| 17 | Pozo en el Obispaño | Experto 1 | Subterránea | Área Metropolitana | 100 | 600 |
| 18 | Pozos Monterrey I y Contry Sol | Experto 2 | Subterránea | Área Metropolitana | 100 | ND |
| 19 | Pozos en Cañones Ballesteros, La Escalera y Montero Acuífero Buenos Aires | Experto 2 | Subterránea | 20 km al SO de Monterrey | 500 | ND |
| 20 | Subálveo del Río Píón 1ª Opción Aguas abajo del Chapotal | PIAAPAMM | Subterránea | 3.5 km al SO de Montemorelos | 300 | ND |
| 21 | Pozos Sierra de Gomas | Experto 2 | Subterránea | 130 km al N de Monterrey | 100 | ND |
| 22 | Pozos Sierra de Lampazos | Experto 2 | Subterránea | 160 km al N de Monterrey | 100 | ND |
| 23 | Proyecto Alfa/Tegra | Tegra | Subterránea | 28 km al SO del AMM | 600 | ND |
| 24 | Pánuco al Norte | Inversionistas | Superficial | 435 km en línea recta al SE de Monterrey | 5000 | ND |
| 25 | Presa Las Blancas | SADM | Superficial | A 130 km al NE de Monterrey (en línea recta) | 500 | ND |
| 26 | Manantiales Tragadero + Manantiales Píón 1ª Opción (22) | SADM | Subterránea | NA | NA | NA |
| 27 | Pánuco - Monterrey ¹⁰ | SADM | Superficial | 502 km al SE de Monterrey | 5,000 | ND |
| 28 | Tajos Micare | SADM | Superficial | 302 km al NO de Monterrey (punto hasta Escobedo) | 2,500 | ND |
| 29 | Desalinizadora Matamoros | SADM | Superficial | A 315 km al Este de Monterrey (en línea recta) | 5,000 | ND |
| 30 | Presa La Libertad y Subálveo del Río Conchos en la Confluencia Potosí-Pabillón-Ac. Linares Monterrey | SADM | Superficial | 16 y 12 km al NE de General Terán | 2,000 | ND |
| 31 | Acuífero Buenos Aires | Experto 2 | Subterránea | A 6 km al SO de AMM | 1,500 | ND |
| 32 | Inyección inducida de agua residual tratada | Expertos | - | De PTAR a 50 km del AMM | 1,000 | 1,000 |
| 33 | Reducción de Agua No Contabilizada | Expertos | - | AMM | 1,000 | 1,000 |

Tabla 5.1

Inventario de proyectos para el incremento de la oferta de agua al AMM.

Fuente: Ramírez et al. (2016a).

Cada alternativa tiene asociadas diversas consideraciones en los ámbitos técnico, económico, social, ambiental y legal. Las fichas completas de los proyectos se pueden consultar en el reporte correspondiente².

A través del proceso de revisión de las alternativas se realizó una depuración de las mismas para llegar a una lista reducida de los proyectos con mayor probabilidad de ser concretados. En dicho proceso se ponderaron los obstáculos que cada uno presentaba en todos los ámbitos mencionados (legales, ambientales, disponibilidad, etc.). Así, solo como ejemplo, el contar con agua de alguna de las presas internacionales supone la renegociación del tratado con EEUU, lo cual, sin ser imposible, sí establece un periodo de tiempo largo e indeterminado, convirtiendo a estas alternativas en poco viables. En consecuencia, se optó, en ese caso, por descartar las presas internacionales Falcón y Amistad.

Así se llegó a una lista reducida de 15 alternativas que se muestran en la tabla 5.2. Ésta fue la que finalmente se utilizó para el análisis de la expansión de la infraestructura de abasto de SADM. Cabe mencionar que en el proceso se plantearon ajustes a las alternativas por parte de los expertos, ya sea en cuanto a su potencial caudal o a la viabilidad técnica de ser ejecutados en conjunción con otro proyecto. En aquellas alternativas de agua subterránea en las que existía diferencia de opiniones entre los expertos sobre su caudal potencial, siempre se consideró el escenario más conservador, por lo que se les asignó el menor volumen estimado.

| No. | Descripción | Tipo de Fuente | Q _{diseño} ³ (m ³ /s) | Costo de inversión (millones de MXN) | Costo de operación (millones de MXN) | Robustez |
|-----|--|----------------|---|---|---|----------|
| 1 | Acueducto Cuchillo II | Superficial | 5.0 | 7,047 | 2,150 | Baja |
| 2 | Presa Vicente Guerrero | Superficial | 5.0 | 12,373 | 3,538 | Mediana |
| 3 | Subálveo del Río Pílon La Unión-Gral. Terán | Subterránea | 0.5 | 863 | 167 | Baja |
| 4 | Subálveo del Río Conchos | Subterránea | 0.5 | 233 | 107 | Baja |
| 5 | Túnel San Francisco II - Sistema Santiago | Subterránea | 0.3 | 360 | 21 | Baja |
| 6 | Campo de Pozos El Pajonal | Subterránea | 0.3 | 235 | 44 | Baja |
| 7 | Presa La Libertad | Superficial | 1.5 | 3,200 | 480 | Baja |
| 8 | Pozo en el Obispado | Subterránea | 0.6 | 27 | 51 | Baja |
| 9 | Pozos Monterrey I y Contry Sol | Subterránea | 0.1 | 30 | 20 | Baja |
| 10 | Pozos Ballesteros, La Escalera y Montero Acuífero Buenos Aires | Subterránea | 0.5 | 740 | 83 | Baja |
| 11 | Subálveo del río Pílon | Subterránea | 0.3 | 61 | 46 | Baja |
| 12 | Pánuco - Monterrey | Superficial | 5.0 | 22,264 | 4,815 | Alta |
| 13 | Desalinizadora Matamoros | Superficial | 5.0 | 21,103 | 7,014 | Muy alta |
| 14 | Proyecto de inyección inducida de agua residual tratada | - | 1.0 | 2,000 | 966 | Muy alta |
| 15 | Proyecto de reducción del Agua No Contabilizada | - | 1.0 | 1,800 | 206 | Muy alta |

Tabla 5.2

Alternativas de fuentes de abastecimiento consideradas en el proceso robusto de toma de decisiones robustas.

Fuente: Elaboración propia con datos de Ramírez et al. (2016a) y Molina et al. (2018).

²Reporte "Análisis de alternativas para abastecimiento de agua potable para el Área Metropolitana de Monterrey", mismo que fue desarrollado en el contexto de este Plan Hídrico. La liga al reporte completo se encuentra en el Anexo A de este documento.

Los costos de inversión fueron estimados a partir de información de SADM y datos de los reportes que sirvieron de base para este documento, en particular el PIAPAMM, y costos-índice de la literatura. Todos se llevaron a valor presente.

Los costos de operación fueron, a su vez, estimados con ayuda del área técnica de SADM y tomaron como base los costos actuales de extracción, producción, potabilización y conducción de los sistemas actuales. Estos costos de se presentan en una base anual. Algunos casos puntuales requirieron un proceso adicional para su estimación:

1. Planta desalinizadora: El costo de inversión fue tomado de los estudios mencionados y llevado a valor presente. Los costos de operación fueron estimados de bibliografía actual especializada y contrastados con la opinión de expertos en la materia.
2. Inyección inducida de agua: El costo de inversión se definió utilizando conceptos gruesos tales como el tratamiento terciario, la conducción y la inyección del agua residual tratada. El costo de operación fue estimado con base en los datos actuales que para la potabilización maneja SADM.
3. Reducción del ANC: La inversión de este proyecto fue estimada con base en referencias bibliográficas que narran experiencias muy recientes en ese mismo tenor.
4. Pánuco - Monterrey: En los documentos que se utilizaron por SADM para su justificación no se incluyó la infraestructura necesaria para conducir los 5 m³/s de la presa Cerro Prieto hasta el área metropolitana. En los análisis realizados para este documento se incluyó la estimación del costo inversión del acueducto para dicho trayecto, que consisten en una distancia de alrededor de 200 km. El costo de operación se estimó con esta consideración.

Adicionalmente, dado el horizonte del Plan, se estimó el costo de operar cada alternativa para el período 2018 - 2050. Esto no es trivial, dado que el orden de implementación de las alternativas haría variar el costo de operación a 2050, lo que implicaría, por ejemplo, que una alternativa implementada en 2045 tendría un costo de operación a 2050 menor que de haberse implementado en 2020. Para evitar sesgar la toma de decisión, se decidió estimar el costo de operación de todas las alternativas para el mismo período.

Finalmente, en la tabla 5.2 se presenta también un índice de robustez, el cual busca reflejar la resiliencia de las fuentes a sequías en el estado y su contribución a la confiabilidad del sistema del operador de agua. En el capítulo 6 se aborda con mayor detalle el rol de este indicador en los planes de expansión de la infraestructura de SADM.

Gestión de la demanda

Para avanzar hacia una seguridad hídrica es indispensable hacer una eficiente gestión de la demanda. Esta estrategia debe siempre ser priorizada por encima de la búsqueda de nuevas fuentes. Reducir el consumo de agua versus incrementar la oferta de agua en la misma proporción es, no solamente más sustentable, sino menos costoso pues se evitan cuantiosas inversiones y costos de operación. Adicionalmente, aumentar la oferta conlleva la necesidad de incrementar la capacidad de tratamiento de aguas residuales en la misma proporción, situación que implica un incremento significativo de costos en los que no se incurre cuando se reduce la demanda. Así, sólo cuando el nivel de la demanda crezca más allá de lo que se puede obtener a través de medidas "suaves", se deberá invertir en la expansión de la infraestructura.

Tres herramientas de conservación de agua que han sido ampliamente utilizadas en la experiencia internacional con resultados significativos son: 1) el uso de la política tarifaria (generar incentivos para el ahorro del agua); 2) campañas de modernización de equipos en hogares; y 3) campañas focalizadas de cambio de comportamiento de los usuarios domésticos. A continuación se desarrollan de forma general las anteriores.

1. POLÍTICA TARIFARIA COMO HERRAMIENTA DE CONSERVACIÓN DE AGUA

El tema de la política tarifaria ha sido ampliamente analizado en múltiples contextos alrededor del mundo. Usualmente este tema va cargado de un fuerte componente político que impide su eficiente aplicación, y termina incapacitando a los operadores de agua de cubrir sus costos de mantenimiento y expansión de infraestructura.

En el caso de Monterrey, el esquema tarifario actual es complejo y poco práctico. Está definido por 13 categorías (dos de ellas con una subcategoría adicional). Cada una tiene un esquema distinto. Por ejemplo, la categoría uno (usuarios domésticos, con servicio de agua potable sin drenaje), consta de doscientos escalones, o niveles de consumo, y precios distintos, y a partir del escalón 200 se establece una relación lineal (no escalonada) entre consumo y precio. Por otro lado, la categoría 13 (agua en bloque) está basado en un precio único, independientemente de la cantidad de consumo. Es decir, no importa si el usuario en esta categoría consume 1 m³/s o 1,000 m³/s, siempre enfrentará el mismo precio por metro cúbico. Adicionalmente, la categoría seis agrupa a los sectores industrial y comercial en uno solo, cuando sectores son muy diferentes en su consumo de agua.

En una encuesta realizada en 2015 (Berumen, 2013) se identificó que solo el 16% de los ciudadanos del AMM reportan conocer cómo se calcula el cobro que hace SADM a los hogares. Para que los usuarios puedan responder y ajustar su consumo de agua de acuerdo a sus necesidades y su restricción presupuestaria de forma eficiente, es fundamental que entiendan el esquema tarifario.

El agua potable es un bien inelástico, es decir, su demanda es poco sensible a cambios en el precio. Para el caso del segmento residencial en el AMM, en promedio dicha sensibilidad se ha estimado en -0.16%. Por lo tanto, un cambio de 10%, provocará un cambio de alrededor de -1.6% en la demanda. Se recomiendan una serie de modificaciones al esquema tarifario actual a partir de las estimaciones robustas de elasticidades por tipo de consumidor; de la necesidad de lograr una importante simplificación del esquema tarifario; así como de la necesidad de incrementar los incentivos para modificar el comportamiento de los usuarios y alcanzar un consumo más sustentable.

1. Reducir el número de categorías (revisar agrupar en uno las categorías 1, 2, 1-preferencial y 2-preferencial; categorías 3, 4 y 5; categorías 8 al 13).
2. Reducir significativamente el número de escalones o niveles de precios (pasar de 200 escalones a tan solo 10, por ejemplo).
3. Para el caso de los usuarios residenciales, proteger a aquellos de bajos ingresos y bajo nivel de consumo: no subir la tarifa a los primeros dos niveles de consumo, y aumentar el nivel de las tarifas para el resto de los usuarios.

4. Eliminar el esquema lineal de agua en bloque y en las demás categorías del sector público, y generar incentivos a este sector para hacer un uso eficiente del agua en el sector (ejemplo: esquema escalonado creciente, con 10 niveles).
5. Separar a los sectores "comercio" e "industria".

Se estima que la simplificación y aumento de las tarifas, protegiendo a los usuarios domésticos de bajo consumo, implicaría una reducción de la demanda de agua de entre 670 y 730 litros por segundo. En términos de la inversión evitada por el incremento de la infraestructura de abasto de agua, estas modificaciones en el esquema tarifario equivalen a inversiones evitadas (ahorro) de más de \$850 millones de pesos.

Además, se estima que los ingresos de SADM tendrían un importante incremento que le permitiría mejorar su operación, incrementar sus capacidades y cubrir sus costos de mantenimiento y en buena medida, de expansión de su infraestructura.

2. CAMBIOS DE EQUIPOS Y MUEBLES SANITARIOS³

Uno de los componentes principales en los planes de conservación de agua es el cambio de inodoros y regaderas. Existen distintas estimaciones y experiencias documentadas del potencial de estos programas⁴.

Para obtener una primera estimación del ahorro de agua potencial de estos programas, y dado que está fuera del alcance realizar revisiones al interior de los hogares bajo un proceso de muestreo aleatorio, se realizó una encuesta representativa a nivel AMM. En las entrevistas se buscaba obtener el dato más preciso posible sobre los equipos y muebles sanitarios de los hogares. Sin embargo, la información obtenida es la percepción de los entrevistados, y no necesariamente los datos reales; de cualquier forma, este procedimiento es una buena primera aproximación. De acuerdo a los resultados de la encuesta, en el AMM en promedio se descargan 5.78 litros de agua cada vez que se utiliza el inodoro; al comparar la descarga promedio con los equipos más eficientes en el mercado, los cuales utilizan 3.8 litros por descarga, se observa un potencial máximo de 16.7 litros por habitante al día, o en términos de gasto promedio, 0.24 m³/s.

Por otro lado, de acuerdo a Berumen (2017), en el AMM los entrevistados afirmaron que las regaderas tienen una antigüedad media de once años y son utilizadas en los hogares en promedio, 3.7 veces al día. Asimismo, el tiempo promedio que toma una ducha de los usuarios es de 11.4 minutos, lo que implica un consumo aproximado de 164 litros por ducha. Si los hogares contaran con regaderas de bajo consumo el uso se reduciría a 70 litros; por lo que se estima el ahorro potencial máximo en 94 litros por ducha, lo que equivale a un gasto promedio de 1.36 m³/s.

Así, estas dos estrategias de conservación de agua implicarían una re-

³Esta sección está basada en "La conservación de agua. Una primera aproximación a su aplicación en el área metropolitana de Monterrey".

⁴Por ejemplo, el Plan de Conservación de Nueva York establece como objetivo, únicamente del reemplazo de sanitarios, el ahorro de un volumen equivalente a 1.31 m³/s.

ducción de la demanda promedio de hasta 1.6 m³/s. Estas primeras estimaciones muestran un impacto potencial significativo, que se podría comparar cautelosamente con proyectos de expansión de la infraestructura de SADM⁵.

Sin embargo, como primer paso, antes de llevar a cabo la implementación generalizada de estas estrategias, se recomienda al operador de agua realizar un análisis robusto para una estimación más exacta de dicho potencial. Esto implicaría la implementación de una prueba piloto, de forma aleatoria, en hogares del AMM.

3. CAMPAÑAS FOCALIZADAS DE CAMBIO DE COMPORTAMIENTO⁶

El tercer componente que se presenta como una estrategia de conservación de agua, son las campañas focalizadas a nivel de usuarios residenciales. Éstas se basan en la economía del comportamiento y en el análisis de la psicología social.

El programa consiste en hacer llegar a los usuarios residenciales una serie de información que los motive a conservar el agua. En este tipo de campañas se suele incluir: comparaciones sociales del consumo de agua del usuario respecto a sus vecinos, explicación del esquema tarifario, mensajes normativos, recomendaciones prácticas para ahorrar agua en el hogar, etc.

Existe una abundante evidencia empírica, tanto en países desarrollados como en vías en desarrollo, algunos de ellos latinoamericanos, que muestran a través del uso de metodologías avanzadas y robustas, un impacto significativo de conservación de agua con este tipo de intervenciones de ahorro, que van de entre 1.2 y 6.8% del agua consumida en el sector residencial⁷. Para el caso del AMM, estos impactos potenciales equivalen a entre 80 y 430 litros por segundo, o en términos de costos evitados por ampliación de la infraestructura, de forma conservadora, entre \$30 y \$200 millones de pesos.

Este tipo de programas han sido implementados (también para el uso de electricidad y gas), analizados y evaluados por organizaciones como el Banco Mundial, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), e investigadores de las mejores universidades del mundo. Se ha demostrado que son extremadamente costo-eficientes, y, en el caso específico de Monterrey, esto se acentuaría si se comparan con el gasto que SADM ha realizado en comunicación social y cultura de agua de 2008 a 2016.

En la tabla 5.3 se muestra los recursos etiquetados por SADM bajo el concepto de “gastos diversos” para el período 2008-2016; en dicho concepto incluye el gasto en cultura de agua, así como gastos “institucionales” y “servicios”. Con la información disponible no es factible descomponer la inversión entre los distintos conceptos. De forma agregada este concepto suma \$1.9 mil de millones de pesos, sin que a nuestro conocimiento exista un análisis del impacto que las campañas de cultura de agua y la comunicación social han tenido en la reducción del consumo de agua en la ciudad.

Por ello, es indispensable, primero, hacer uso de las herramientas que

⁵Es importante resaltar que estos programas no implican una reducción significativa de la demanda de agua de forma inmediata; simplemente, la implementación de dichos programas pueden tomar varios años, por lo que el impacto esperado de los mismos puede también tomar una cantidad importante de tiempo.

⁶El contenido de esta sección se puede revisar en Crespo y Ramírez (2017).

⁷En Costa Rica, un estudio del Banco Mundial encontró una reducción en el consumo de agua del 13% atribuible al programa, cuando se consideran no solo los efectos directos, sino también los efectos indirectos.

Tabla 5.3

Gastos anuales varios de SADM (institucionales, servicios y de cultura de agua) para el período 2008 – 2016 (inversión en millones de pesos).

Fuente: Elaboración propia con información de SADM (2016) y Actas del Consejo de Administración de SADM.

| Año | Inversión |
|--------------|-------------------|
| 2008 | \$139.27 |
| 2009 | \$170.05 |
| 2010 | \$245.65 |
| 2011 | \$284.18 |
| 2012 | \$261.98 |
| 2013 | \$193.32 |
| 2014 | \$248.87 |
| 2015 | \$349.24 |
| 2016* | \$17.32 |
| Total | \$1,909.87 |

* La inversión de 2016 corresponde únicamente a servicios de comunicación social y publicidad.

muestran impactos significativos sobre el consumo de agua; y segundo, evaluar de forma robusta el impacto que los distintos esfuerzos que se realizan para reducir la demanda tienen sobre el consumo real de agua.

Sin embargo, la recomendación puntual para el caso del AMM es comenzar con la aplicación de una prueba piloto de al menos un año, basado en ensayos controlados aleatorios, que permita identificar de forma insesgada, los impactos de una campaña de esta naturaleza para el caso del AMM, y que permita adecuar la intervención de tal forma que se maximice su impacto.

En resumen, las tres estrategias de conservación de agua que se plantean, han demostrado ser especialmente eficientes en la experiencia internacional. Sin embargo, no es una lista exhaustiva, y se deben de analizar muchas otras opciones que promuevan el uso eficiente de agua. En el caso particular de las estrategias aquí propuestas, el efecto combinado de estos programas podría alcanzar hasta 2.7 m³/s de ahorro de agua. El relativo bajo costo de las acciones de conservación de agua propuestas, así como el contexto local, hacen apremiante la implementación de dichos programas. Sin embargo, también es indispensable que su implementación se lleve a cabo de tal forma que se puedan estimar los impactos con metodologías robustas, e internacionalmente aceptadas, y no únicamente a través de simples comparaciones que permiten sesgar conclusiones a favor o en contra de cualquier posición; una de las metodologías más robustas que se utilizan a nivel mundial, son los ensayos controlados aleatorios.

Recuperación de volúmenes del sector agropecuario

Como ya se mencionó, el 71% del agua concesionada en el estado está destinada al sector agropecuario. Se conocen los volúmenes que la CONAGUA concede al sector, pero no se miden los consumos reales; por lo tanto, no se puede considerar que la autoridad de agua realmente esté monitoreando y controlando el consumo de agua en este sector. Por lo tanto, el primer paso obligatorio para mejorar la eficiencia del uso del agua en este sector es la medición del consumo.

Una reducción de apenas 10% del uso del agua en la agricultura del estado representaría un volumen anual de casi 147 millones de m³, equivalente a un caudal medio de 4.6 m³/s; es decir, un tercio del agua que se consume actualmente en el AMM. Existen estimaciones sobre la liberación potencial de volúmenes de

agua a través del incremento de la eficiencia del sector agrícola en niveles superiores al 3% para el caso de los distritos de riego, y de un 57% para las unidades de riego (Arreguín et al, 2010).

Por otro lado, a los distritos de riego les fueron concesionadas dotaciones de agua por decreto presidencial cuando fueron creados, en 1931 para el DR 004 Don Martín, y en 1947 para el DR 031 Las Lajas. Actualmente, una superficie significativa de dichos distritos se encuentra abandonada, o se ha destinado a otras actividades, a través de la instalación de infraestructura (avenidas, colonias, etc.). A pesar de esto, siguen contando con la misma dotación de agua. Así, es necesario que se lleve a cabo un redimensionamiento de los distritos de riego, que vaya acompañado con una reducción de las concesiones de los mismos.

Existen esfuerzos en esta dirección. En 2015 se inició un proceso de compactación del distrito DR 004, mediante un programa entre CONAGUA y Gobierno del Estado. Dicho proceso implica su redimensionamiento de 29,616 a 14,881 ha (50.2% de la superficie original), cuyo costo se estimó en \$206 millones de pesos (Gobierno de Nuevo León, 2016).

Por otro lado, una de las maneras para incrementar la eficiencia del uso del agua en la agricultura es a través de la tecnificación del riego mediante un cambio en el método de riego. En la tabla 5.4 se presentan las eficiencias de aplicación estimadas por técnica de riego. Como se puede apreciar, en los cambios más extremos, existen técnicas que prácticamente duplican la eficiencia del riego (surcos en contorno versus goteo).

Para el caso de Nuevo León, parece factible transitar del riego convencio-

nal por gravedad en surcos a riego por aspersión. Este cambio incrementaría la eficiencia de riego en aproximadamente 20%. Las técnicas de riego por goteo y por micro aspersión parecen, en el corto y mediano plazos, fuera de alcance de forma general dado el incremento del costo de la inversión.

En resumen, existe un gran potencial para rescatar agua del sector agrícola y convertirla en una fuente potencial para el abastecimiento en el sector urbano. Entre las acciones críticas para concretarlo se encuentran:

- > Establecimiento de programas de modernización de infraestructura de conducción.
- > Redimensionamiento de los distritos de riego.
- > Tecnificación de los sistemas de riego.
- > Selección de cultivos de poca demanda de agua y alto valor comercial.
- > Instalación de sistemas de medición en un 100% de los usuarios agrícolas.

Eficiencia en el sistema de abastecimiento de agua

Otro de los rumbos que debe tenerse en alta consideración es el del manejo y gestión eficiente del recurso dentro de las operaciones del propio organismo operador de agua. En este caso existen al menos tres aspectos relacionados con la gestión de SADM que se establecen como área de oportunidad y por lo tanto son factibles de mejorar: la optimización en la operación general del sistema, la gestión de la operación conjunta de las presas El Cuchillo y Marte R. Gómez y la reducción del ANC. Estos aspectos se discuten a continuación.

1. OPTIMIZACIÓN EN LA OPERACIÓN DEL SISTEMA

El primero de ellos es la necesidad de llevar a cabo una optimización de la política de operación del sistema en cuanto a la prioridad de explotación de las fuentes. Actualmente alrededor del 55% del suministro proviene de las fuentes superficiales y el 45% restante de subterráneas. Sin embargo, la prioridad de explotación por tipo de fuente establece en general que, cuando existe disponibilidad en ambas, las fuentes subterráneas son operadas antes que las superficiales.

Lo anterior obedece a un criterio meramente económico de corto plazo debido, por un lado, a encontrarse más cerca de la ciudad; y por otro lado, al contar con una mejor calidad de agua, lo que requiere un menor costo en su tratamiento. Sin embargo, esta política de corto plazo no es la óptima en el plazo largo, dado que no considera que mientras se explota el agua subterránea, el agua disponible en los embalses se evapora en grandes volúmenes. Solo de la presa El Cuchillo, se pueden evaporar alrededor de 10 m³/s. Como referencia, la oferta sostenible de la presa del Cuchillo es de alrededor de 13.3 m³/s, es decir que se puede perder por evaporación alrededor del 75% de la oferta sostenible de SADM.

Si no se asigna un valor económico al agua perdida por evaporación, la mejor opción seguirá siendo priorizar la explotación subterránea. Lo anterior debilita la resiliencia del sistema de SADM ante sequías prolongadas. En un caso extremo se puede llegar a explotar el agua subterránea hasta el punto de agotar los acuíferos, en cuyo caso tampoco habrá ya agua superficial que explotar.

Así, ante la diversidad de fuentes de las que se dispone (tres fuentes su-

| Tipo | Método | Eficiencia de aplicación (%) |
|-------------------------|--------------------|------------------------------|
| Convencional a gravedad | Surcos rectos | 55 - 70 |
| | Surcos en contorno | 50 - 55 |
| | Inundación | 60 |
| Tecnificado | Interminente | 85 |
| | Multicompuertas | 85 |
| | Pivote | 75 - 90 |
| | Aspersión móvil | 65 - 85 |
| | Aspersión fija | 70 - 85 |
| | Micro aspersión | 80 - 90 |
| Goteo | 90 - 95 | |

Tabla 5.4

Eficiencias de aplicación para algunos métodos de riego

Fuente: Soluciones hidráulicas del Pacífico (2017).

perfciales y al menos cinco grandes sistemas acuíferos), la tarea de una optimización sistemática se vuelve fundamental. Desde el punto de vista superficial, por ejemplo, en general la primera fuente utilizada es la Presa La Boca, por cuestiones económicas. La segunda fuente a explotar es la presa Cerro Prieto, sobre todo porque la calidad del agua es superior a la de los otros embalses. La última fuente que se aprovecha es El Cuchillo. Sin embargo, en cálculos preliminares, llevados a cabo mediante el uso de un modelo integrado de asignación de agua⁸, es posible incrementar la confiabilidad del sistema con solo cambiar el orden de prioridad de extracción entre Cerro Prieto y El Cuchillo. En otras palabras, al optimizar las fuentes aumenta la disponibilidad de agua al evitar pérdidas por evaporación. Se estima que el cambio de prioridad entre las dos presas conlleve un incremento en la confiabilidad del sistema en al menos 2 puntos porcentuales, lo cual equivaldría a no desarrollar, por ejemplo, proyectos para expandir la infraestructura de explotación de agua subterránea de alrededor de \$250 millones de pesos.

Esto sugiere que se debe llevar a cabo un estudio específico orientado a la optimización en la operación del sistema, planteando funciones objetivo en consenso con SADM y que contemplen los aspectos de cantidad y calidad el agua, además de los económicos, asignando también como se mencionó, el costo de oportunidad del agua perdida por evaporación, así como otros factores relevantes.

Además, una política de operación óptima debe de ir de la mano de una negociación con la CONAGUA para que SADM esté en condiciones de aprovechar los volúmenes "rescatados" por las pérdidas por evaporación evitadas; esto implica el otorgamiento de mayores asignaciones de agua de las presas. En caso de que la CONAGUA no modifique las asignaciones, SADM no tendrá incentivos en asumir costos de corto plazo, debido a que le será imposible explotar los volúmenes rescatados a través de la optimización de su operación.

2. OPERACIÓN CONJUNTA DE LAS PRESAS EL CUCHILLO Y MARTE R. GÓMEZ

El segundo aspecto de la eficiencia en el funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua tiene que ver con la operación de la presa El Cuchillo en el contexto del acuerdo de transferencia de agua de esta presa en Nuevo León a la presa Marte R. Gómez en Tamaulipas. El último acuerdo, establecido el 13 de noviembre de 1996 especifica que: "Si al 1 de noviembre de cada año, la presa El Cuchillo registra un almacenamiento superior a 315 millones de metros cúbicos, el excedente de ese volumen deberá ser trasvasado a Marte R. Gómez, siempre y cuando este último embalse tenga un nivel inferior a 700 millones de metros cúbicos".

El volumen que puede almacenar en la presa Marte R. Gómez al Nivel de Aguas Máximas Ordinarias (NAMO) o nivel de conservación, alcanza 995 millones de metros cúbicos; sin embargo, el volumen útil es de solo 782 millones de metros cúbicos⁹.

Esta política de trasvases no revisa si los usuarios en Tamaulipas necesitan

el agua o no; simplemente establece dos condiciones de almacenamiento existente de agua. En los casos en los que se trasvasa agua de El Cuchillo a Marte R. Gómez, y las condiciones son tales que los usuarios no requieren de dichos volúmenes, el agua terminaría por ser descargada al mar, no aprovechándose dichos volúmenes.

En la figura 5.1 se muestra la historia de los trasvases anuales desde 1996 a 2016. Se puede apreciar que, en ese periodo de 21 años, en 18 ocasiones (86%) se han realizado transferencias de volúmenes, destacando grandes cantidades en los años 2004 y 2010. Es importante determinar en cuántas de esas ocasiones, el volumen trasvasado a Marte R. Gómez no fue utilizado para los fines de riego preestablecidos.

Más aún, con base en las estadísticas de riego del DR 026 Bajo Río San Juan, en el año agrícola 2015-2016 se sembró solo el 78% de la superficie total (CONAGUA e IMTA, 2017). De hecho, en ningún momento desde 2001 a la fecha se ha sembrado más del 82% de la superficie bajo la modalidad de riego. Esta situación es especialmente relevante debido a que podría sentar la base para una reconsideración en las asignaciones de agua con fines agrícolas.

Un análisis preliminar llevado a cabo con los registros de entrada a ambas presas por cuenca propia, muestra que la presa Marte R. Gómez cuenta con una baja sensibilidad a algunas modificaciones en el umbral que define la transferencia en El Cuchillo. Esto, sin duda, abre la posibilidad de, a través de un estudio específico y detallado, estar en posibilidades de negociar los términos del acuerdo de 1996 de tal forma que Nuevo León pueda trasvasar menores volúmenes a Tamaulipas sin afectar a los distritos de riego aguas abajo.

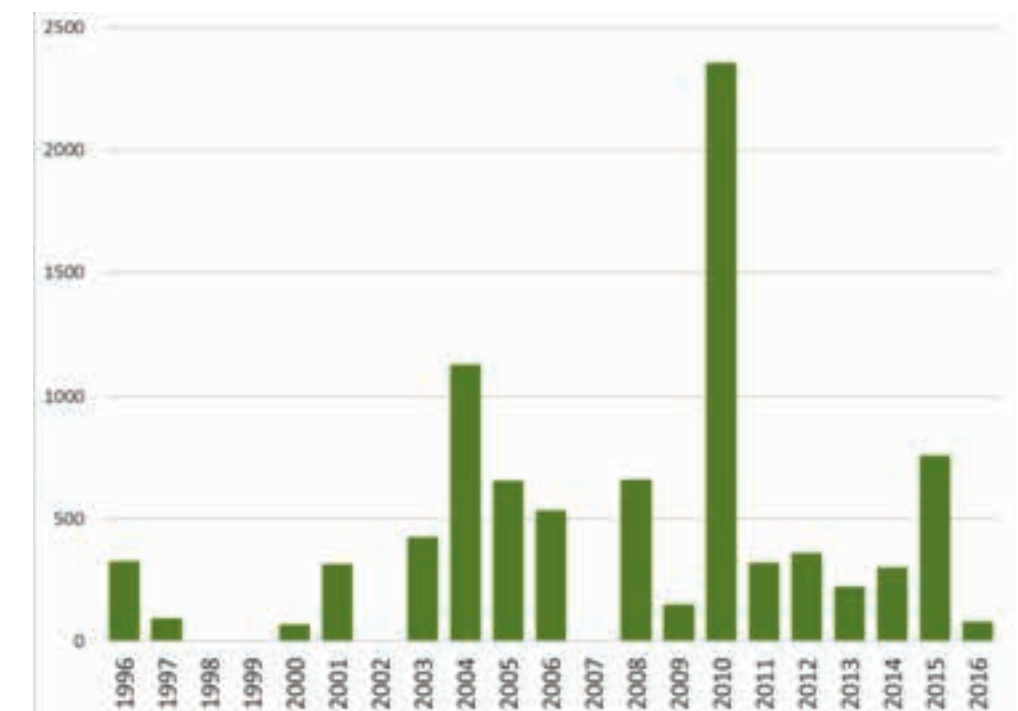


Figura 5.1
Resumen de las transferencias anuales de El Cuchillo a Marte R. Gómez de 1996 a 2016 (en hm³).

Fuente: Ramírez et al (2017b).

⁸La descripción y detalle del modelo se encuentra en el documento "Modelo de asignación de agua para el Área Metropolitana de Monterrey en Riverware", mismo que fue desarrollado en el contexto de este Plan Hídrico. La liga al reporte completo se encuentra en el Anexo A de este documento.

⁹Esto debido a la existencia del "volumen muerto" del embalse, el cual no es aprovechable para la satisfacción de la demanda.

3. AGUA NO CONTABILIZADA (ANC)

El tercer elemento de la gestión eficiente de la demanda se refiere al ANC. Este concepto no tiene una definición única puesto que cada organismo operador de agua puede definir la forma de medirlo. Sin embargo, el concepto está asociado con la llamada "Non Revenue Water" (NRW), manejada en muchos países en el mundo. Este último concepto se refiere más puntualmente a los volúmenes de agua que no se traducen en ingresos económicos para el organismo operador.

Tanto el concepto de NRW como el de ANC son indicadores de la eficiencia del organismo en ver traducir sus esfuerzos de dotar de agua a la población, en una mejora económica de la institución. En el caso de SADM, se ha definido como porcentaje de ANC lo que internacionalmente se maneja como NRW, y es el resultante de la fórmula:

$$ANC = (\text{Suministro} - \text{Consumo Real}) / \text{Suministro} \times 100$$

Con este indicador SADM determina el porcentaje de agua potable que no se factura por pérdidas físicas en la red, errores de micro y macromedición, así como la existencia de tomas clandestinas. Se puede apreciar la complejidad en el cálculo exacto de este parámetro, puesto que no se dispone de un registro de consumos reales en cada toma domiciliaria. En todo caso, la mejor aproximación a dicho consumo es el volumen facturado, que contiene al menos los errores en los micromedidores que son significativos. De cualquier forma, el ANC muestra las oportunidades que tiene el organismo operador para mejorar sus sistemas.

En la figura 5.2 se muestran los volúmenes producidos y los facturados para el AMM, así como el cálculo del ANC tomando estos últimos como *proxy* del consumo real. También se incluye el valor reportado por el propio SADM como ANC, sin contener la información fuente para poder verificarlo (SADM, 2017).

En el caso del ANC calculada con los volúmenes producidos y facturado en el periodo de 2000 a 2016, se tiene un promedio de 31%, mientras que los valores reportados por SADM generan un valor medio del 28%. En todo caso, hay un claro margen de mejora en la gestión. Para los fines de este reporte se han establecido escenarios optimistas en los que el ANC se reduce a 22% y a 18% para 2050. Al menos el nivel del 22% debe ser la meta para el organismo operador. En este sentido, es fundamental que SADM establezca públicamente metas por lustro.

En la figura 5.3 se ilustra información análoga para el caso de los municipios no metropolitanos. Por los volúmenes manejados, que son de un orden de magnitud menor que los del AMM, la relevancia del resto del estado en este particular tema es significativamente menor.

Figura 5.2
Estadísticas anuales relacionadas con el Agua No Contabilizada en el AMM. Volúmenes en m³ y ANC en porcentaje.

Fuente: SADM, 2017.

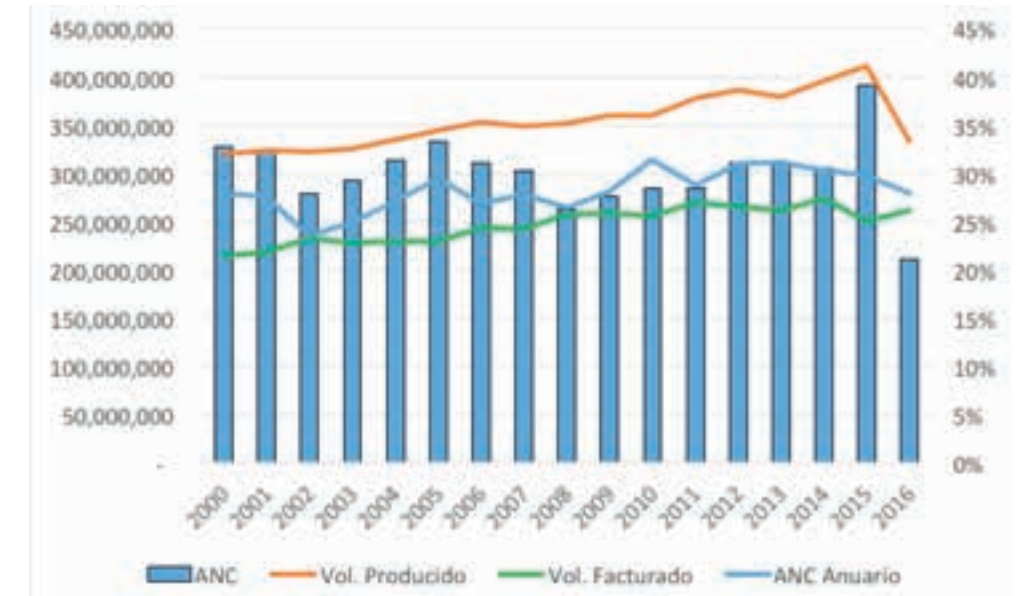
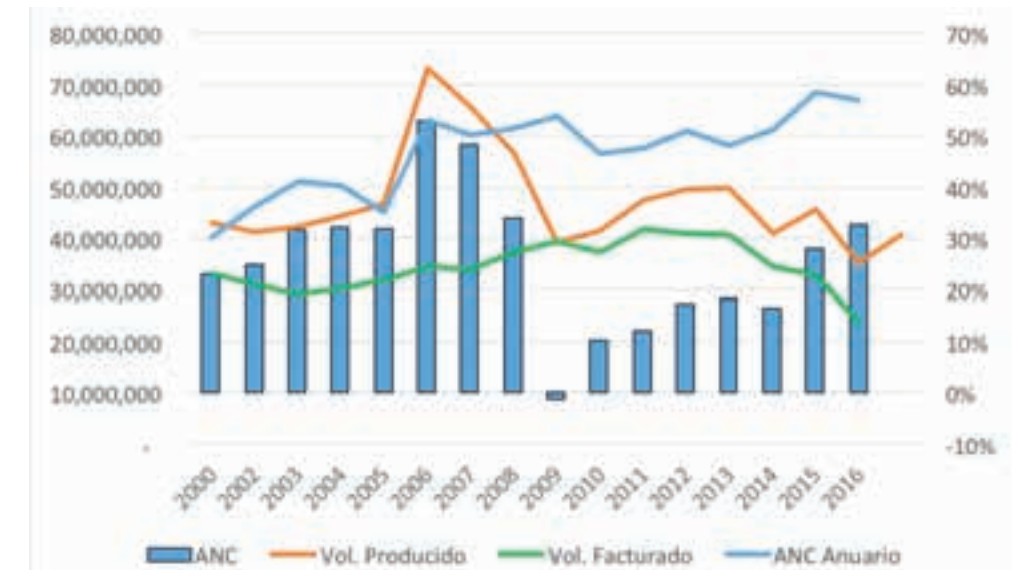


Figura 5.3
Estadísticas anuales relacionadas con el Agua No Contabilizada en los municipios no metropolitanos de Nuevo León. Volúmenes en m³ y ANC en porcentaje.

Fuente: SADM, 2017b.



De acuerdo con los datos mostrados en la figura 5.2, el caso de la eficiencia en los municipios no metropolitanos tiene una ventana más grande de oportunidades, aunque es de reconocer que los volúmenes potencialmente recuperados fuera del AMM son de cualquier forma menores a los beneficios de reducir, aunque sea marginalmente, el ANC en la AMM.

Según las cifras de SADM, entre 2000 y 2016 se registraron, en los municipios no metropolitanos, un nivel medio de 47% de ANC. Este mismo valor, estimado a partir de volúmenes producidos y facturados muestra una gran variabilidad, desde -1% a 53%. Este comportamiento es producto, por un lado, por el desfase temporal que existe entre la producción de agua y la facturación; y por otro lado, por la reasignación de municipios al AMM, además del manejo en los puntos de abastecimiento a las poblaciones. De cualquier forma, a la fecha, cerca de la mitad del volumen producido no es facturado por SADM y, al menos en forma parcial, efectivamente no consumido por la población. También resulta relevante mencionar la tendencia creciente del ANC en la zona no metropolitana, lo cual debe atenderse a la brevedad.

Referencias

- Acuerdo de Coordinación de fecha noviembre de 1996. Firma de los acuerdos para el aprovechamiento y reglamentación de las aguas de la cuenca del río San Juan. CONAGUA. (1996).
- Arreguín, F., Alcocer V., Marengo H., Cervantes C., Albornoz, P & Salinas G. (2010). Los retos del agua. Academia Mexicana de Ciencias. El agua en México: cauces y encauces, México.
- Berumen. (2015). Estudio de conocimiento y cultura del agua. Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey.
- Berumen. (2017). Estudio para identificar el uso de regaderas, inodoros y lavadora, en los hogares de la zona metropolitana de Monterrey. Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey.
- Crespo, R., Ramírez, A. (2017). Programas enfocados a generar una actitud de conservación de agua en el uso doméstico. Una perspectiva de la economía del comportamiento. Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey.
- CONAGUA e IMTA. (2017). Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego. Disponible en <http://www.edistritos.com/DR/estadisticaAgricola/index.html>
- Gobierno de Nuevo León (2016). Gobierno del Estado de Nuevo León. Recuperado el 07 de 11 de 2017, de <http://www.nl.gob.mx/proyectos/redimensionamiento-y-modernizacion-del-distrito-de-riego-004-don-martin>
- Leal, Oscar. (2018). La conservación de agua. Una primera aproximación a su aplicación en el área metropolitana de Monterrey. Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey.
- Molina-Perez, E., Groves, D., Popper, S., Ramirez, A., Crespo, R. (2018). Developing a Robust Water Strategy for Monterrey, Mexico: Diversification and adaptation for coping with climate, economic and technological uncertainties. Santa Monica, California: RAND Corporation. Por publicar.
- Navarro, F. (2017). Construcción de una herramienta de optimización tarifaria para el agua potable en la ciudad de Monterrey y su área metropolitana. Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey.
- Ramírez, A., Herrera, A., Ramírez, S., Gómez, M. (2016a). Análisis de alternativas para abastecimiento de agua potable para el Área Metropolitana de Monterrey. Tecnológico de Monterrey. Reporte desarrollado para el Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey.
- Ramírez, A., Herrera, A., Ramírez, S., Gómez, M., Torres, E., Montelongo, R. (2016b). Modelo de asignación de agua para el Área Metropolitana de Monterrey en Riverware. Tecnológico de Monterrey. Reporte desarrollado para el Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey.
- SADM, CONAGUA. (2000). Plan integral para el abastecimiento de agua potable para el Área Metropolitana de la ciudad de Monterrey, N.L. (PIAAPAMM).
- SADM. (2008). Acta número 466, Sesión Ordinaria del Consejo de Administración de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.
- SADM. (2009). Acta número 471, Sesión Ordinaria del Consejo de Administración de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.
- SADM. (2010). Acta número 475, Sesión Ordinaria del Consejo de Administración de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.
- SADM. (2011). Acta número 480, Sesión Ordinaria del Consejo de Administración de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.
- SADM. (2013). Acta número 488, Sesión Ordinaria del Consejo de Administración de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.
- SADM. (2014). Acta número 495, Sesión Ordinaria del Consejo de Administración de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.
- SADM. (2016). Informe de Avance de Gestión Financiera. Cuarto Trimestre de 2016.
- SADM (2017). Anuario estadístico sobre la operación de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey I.P.D., en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM). http://www.sadm.gob.mx/PortalSadm/Docs/Anuario_Estadistico_SADM.pdf
- SADM (2017b). Anuario estadístico sobre la operación de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey I.P.D., en los municipios no metropolitanos de Nuevo León. http://www.sadm.gob.mx/PortalSadm/Docs/Anuario_Estadistico_SADM_RF.pdf
- Soluciones Hidráulicas del Pacífico. (2017). Del sector agrícola a la ciudad: estado actual y posibles cursos de acción. Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey.



ANTE ESCENARIOS
FUTUROS DE ALTA
INCERTIDUMBRE ES
NECESARIO HACER USO
DE METODOLOGÍAS
QUE TOMEN EN CUENTA
DICHAS FUENTES
DE INCERTIDUMBRE
Y CONDUZCAN A
SOLUCIONES ROBUSTAS.

VI. LA GESTIÓN DEL AGUA BAJO INCERTIDUMBRES PROFUNDA

La planeación y gestión eficiente de los recursos hídricos es altamente compleja, por un importante número de factores. En principio, al depender de ciclos naturales que cada día son más irregulares debido al incremento en la variabilidad y el cambio climático, no podemos hablar de una oferta fija de agua, y se tiene que hacer uso de métodos probabilísticos para los análisis. Asimismo, al ser un tema sumamente sensible para toda la ciudadanía, la política pública hídrica conlleva cargas políticas que afectan directamente temas críticos para el uso y gestión eficiente del recurso hídrico, como lo es por ejemplo la fijación de tarifas.

Además, la falta de información sobre la disponibilidad de agua subterránea acentúa las dificultades para una gestión eficiente del agua. El sistema de SADM se alimenta en alrededor del 40% de fuentes subterráneas, sin embargo, no se conoce a profundidad las características de los acuíferos, sus capacidades y tasas de recarga, entre otros.

La misma incertidumbre generada por la falta de información completa y confiable se enfrenta en otros aspectos críticos como es el agua no contabilizada (ANC). Esa situación implica una mayor complejidad en la gestión del sistema de distribución de agua, y por lo tanto en la reducción continua del propio porcentaje de ANC.

Además, SADM se enfrenta con una demanda de agua dinámica y creciente, con la generación de polos de desarrollos que implican grandes retos para la gestión del agua, y no cuenta con una herramienta fundamental para los operadores de agua en países desarrollados, como lo es un sistema tarifario diseñado para generar incentivos al ahorro y cuidado del agua en todos los sectores.

Por otro lado, cuando se busca seleccionar las mejores fuentes para incorporar nuevos volúmenes al sistema de abasto de SADM, se encuentran con múltiples alternativas que difieren significativamente en su capacidad de abastecimiento, costos de inversión y operación, estatus legal y administrativo, impacto ambiental, afectaciones a terceros, sensibilidad a sequías en el estado, etc.

Adicionalmente, los costos de algunas tecnologías generan incertidumbre dado que de continuar las tendencias actuales, éstas podrían ser significativamente más asequibles en el futuro. Este es el caso particular de la desalinización. Es altamente probable que los costos de esta tecnología continúen disminuyendo en el futuro cercano, sin embargo, es imposible estar seguros de si la tendencia a la baja se mantendrá, o si bien, se estabilizará en los niveles actuales. Este aspecto es sumamente relevante dado que disminuciones en los costos de esta tecnología aumentan su ventaja comparativa respecto al resto de las alternativas consideradas.

Así bien, la toma de decisiones no es un proceso lineal y tampoco obedece a un solo criterio, por lo que la expansión de la infraestructura hidráulica, a través de uno o varios proyectos, es una cuestión compleja. En este sentido, el análisis de costo-beneficio tradicional no es suficiente para tomar una decisión ya que el rendimiento de estos proyectos varía en función del escenario hidrológico considerado, de otros proyectos desarrollados, y del orden secuencial bajo el cual diferentes alternativas son implementadas.

Por lo tanto, los tomadores de decisiones deben de hacer uso de las mejores y más sólidas metodologías, que tomen en cuenta dichas fuentes de incertidumbre, y conduzcan a soluciones robustas, independientemente del futuro que se enfrente, considerando el orden de implementación de los proyectos, y una visión de largo plazo.

Toma de decisiones robustas

Para el desarrollo del Plan Hídrico N.L. 2050 se utilizó el marco de referencia Robust Decision Making (RDM) (Lempert et al., 2003), a través del cual se analizaron las opciones de expansión de infraestructura hídrica de la ciudad, considerando miles de escenarios futuros posibles. La idea central de esta metodología consiste en llevar a cabo la planeación de la infraestructura (y otras acciones) de una ciudad o región a partir de la optimización, no de un escenario futuro proyectado, sino de miles de escenarios futuros posibles. La toma de decisión deberá ser tal que la decisión sea buena para la mayor cantidad de futuros posibles, minimizando así el arrepentimiento futuro.

En este sentido, la metodología RDM se aplicó al contexto hídrico local para la selección de portafolios de inversión, bajo el criterio de la minimización de costos (de inversión y operación), garantizando, a través del tiempo, la confiabilidad del sistema de SADM en al menos 97%, y considerando una amplia gama de incertidumbres. Los análisis consideraron una ventana de tiempo de 2018 a 2050.

Incertidumbres

La tabla 6.1 resume las incertidumbres identificadas y consideradas. Como se puede observar, para cada una de ellas se llevaron a cabo modelaciones y simulaciones, de tal forma que se abordó un significativo número de escenarios futuros. Para la generación de dichos escenarios se utilizaron diferentes metodologías.

| Incertidumbres | Número de escenarios futuros generados | Métodos |
|---------------------------------|--|--|
| Escenarios de demanda | 25,000 | Modelos econométricos y simulaciones de Monte Carlo |
| Escenarios tarifarios | 2 | Modelos econométricos y simulaciones de Monte Carlo |
| Escenarios hidrológicos | 54 | Modelos probabilísticos y simulaciones de cuencas |
| Escenarios de agua subterránea | 648 | Variaciones lineales respecto a la estimación actual |
| Escenarios de la desalinización | 648 | Variaciones lineales respecto a los costos actuales |

Tabla 6.1
Incertidumbres y escenarios futuros generados.

Fuente: Molina et al. (2018).

Para el caso de los escenarios de demanda, se partió de modelos econométricos, y se utilizaron simulaciones de Monte Carlo. A través de estas metodologías se crearon 25,000 escenarios distintos, considerando también cuatro trayectorias de ANC¹.

Los 54 escenarios de oferta se llevaron a cabo a través de simulaciones de las cuencas de aportación tanto de las fuentes actuales, como de cada una de las alternativas; a partir de ellas. Se registraron variaciones respecto a la precipitación histórica, para las cuales se estimaron los escurrimientos y, finalmente, a la disponibilidad futura por fuente. Los rangos de variación en la precipitación sin duda cubren ampliamente los escenarios esperados por el cambio climático.

Para los escenarios de agua subterránea se consideró un intervalo de -30.0% a 30.0% de variabilidad respecto a la oferta sostenible estimada en este ejercicio de planeación. De igual forma, los escenarios de costos de desalación incluyen el mismo intervalo (-30.0% a 30.0%) respecto a la actual estimación de costos.

Alternativas

Como se mencionó en el capítulo anterior, el universo de alternativas de abasto de agua para el sistema de SADM identificadas ascendió inicialmente a 35 proyectos. De ellas, en un proceso de depuración a través de un análisis legal, así como de talleres y consultas con expertos y actores clave, se redujeron a 15. En la tabla 5.2 se presentan las alternativas depuradas, el incremento de abasto potencial de cada una de ellas, la estimación de costos de inversión y de operación, así como un índice de robustez, entendiendo que una alternativa es robusta cuando su capacidad de suministrar agua al sistema de SADM no es mermada durante una sequía prolongada en el Estado.

El nivel de robustez es un indicador especialmente relevante, dado que se busca mantener un nivel de confiabilidad del sistema de SADM en al menos un 97%, aún durante escenarios hidrológicos significativamente desfavorables. El índice es una simplificación de lo realizado durante el desarrollo de este Plan Hídrico; las simulaciones de cada una de las cuencas de influencia y los análisis probabilísticos, vertidos en un modelo asignación de agua en el software Riverware son el verdadero insumo de la herramienta de RDM.

El concepto de robustez de las alternativas, sin duda favorece a un subconjunto de las mismas: a la reducción del ANC; la inyección de agua inducida a los acuíferos; el Pánuco; medianamente a la presa Vicente Guerrero (debido a su cercanía con las fuentes actuales); y a la planta desalinizadora en Tamaulipas. Estas alternativas son poco sensibles a una sequía prolongada en Nuevo León, y por lo tanto tienen una ventaja en este sentido sobre el resto de alternativas.

Por otro lado, en términos de costo de inversión, existen opciones que son de relativo bajo costo, como los son "Pozos Monterrey I" y "Contry Sol", sin embargo los volúmenes que aportarían al sistema de SADM también son bajos.

¹Las trayectorias se refieren a cambios graduales del punto de partida (ANC=29%) a un nivel de ANC determinado a 2050 (ANC=18%, 22%, 29%, 35% ó 40%).

que se muestra de forma simplificada en la figura 6.2⁴. Este diagrama describe la secuencia de decisiones a implementarse en función de diferentes condiciones de demanda de agua y condiciones hidrológicas.

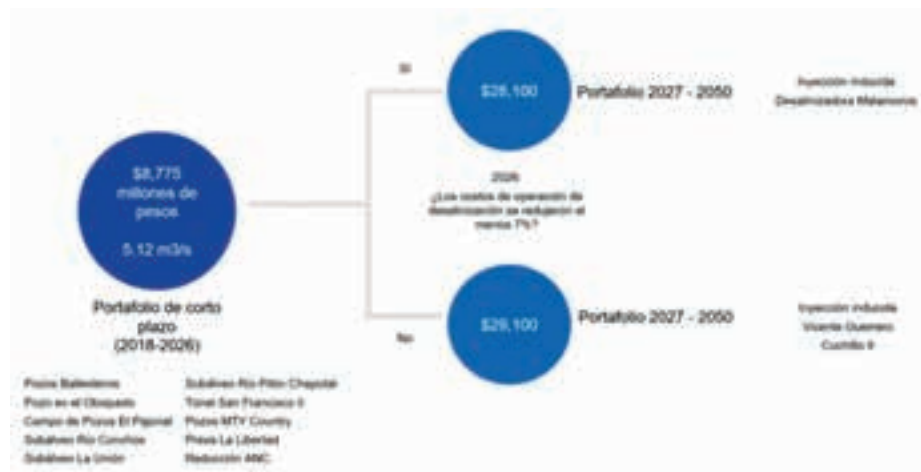


Figura 6.2

Plan Adaptativo simplificado

Fuente: Elaboración propia a partir de Molina et. al (2018)

El plan adaptativo plantea una clara recomendación para los siguientes 12 años: expandir el sistema actual empleando una combinación de alternativas de agua subterránea, de bajo costo, y niveles de caudales bajos, así como la construcción de la presa la Libertad, y la inversión en un programa de reducción de ANC que recuperaría 1 m³/s. Este portafolio de proyectos inicial se estima en una inversión de \$8,775 millones de pesos, y agregaría 5.12 m³/s, y su implementación se llevaría a cabo durante el período 2018 – 2026⁵.

A partir de 2027 el plan simplificado plantea la expansión del sistema de abasto de agua a través de dos estrategias mutuamente excluyentes, cuyo factor definidor es el costo de operación de la desalinización:

- > Si el costo de inversión, operación y mantenimiento de la planta desalinizadora se reduce en al menos 7%, entonces el plan consiste en llevar a cabo el proyecto de la desalinizadora (5 m³/s) y la inyección inducida a los acuíferos (1 m³/s), lo cual implicaría una inversión de \$28.1 mil millones de pesos.
- > Si los costos de desalinización no se reducen en al menos 7%, entonces se plantea llevar a cabo la inyección inducida de acuíferos, el segundo acueducto del Cuchillo (5 m³/s) y la explotación de la presa Vicente Guerrero (5 m³/s), con una inversión de \$29.1 mil millones de pesos. Bajo este segundo esquema se agregarían 11 m³/s adicionales al sistema; la diferencia en los volúmenes radica en la diferencia de robustez de los portafolios: mientras que la desalinizadora e inyección inducida son proyectos altamente resilientes a una sequía prolongada en Nuevo León, las alternativas basadas en el Cuchillo II y Vicente Guerrero son mucho más sensibles a las sequías en el estado.

Es importante destacar que el proyecto de la inyección inducida a los acuíferos, aunque implica altos costos, es una estrategia dominante en el mediano y largo plazo, es decir, que independientemente de las múltiples variables futuras, será un proyecto que se deberá llevar a cabo.

Robustez del plan adaptativo

El plan adaptativo descrito en el apartado anterior es un plan de expansión del sistema de agua de SADM que plantea un portafolio de inversión para los próximos 12 años, por un lado, y por otro, establece estrategias de adaptación óptimas en el largo plazo, en función de las condiciones de oferta, demanda y del cambio tecnológico. Estas características resultan en un plan que utiliza los recursos para su ejecución de manera altamente costo-eficiente, y que además establece las dimensiones y umbrales del futuro que desencadenan otras estrategias.

La figura 6.3 emplea el mismo diagrama dispersión descrito con anterioridad para describir, ahora, el nivel de vulnerabilidad del plan adaptivo propuesto. Los resultados muestran la reducción significativa de los niveles de vulnerabilidad del sistema de SADM a través del tiempo. En todos los escenarios futuros considerados se alcanzaría un nivel de confiabilidad cercano, igual o por encima del nivel de confiabilidad actual.

En resumen, el plan adaptivo reduce marcadamente los niveles de vulnerabilidad del sistema de agua de la ciudad en el corto y largo plazo, y plantea una estrategia de expansión y mejoramiento del sistema actual de forma altamente costo-efectiva.

⁴En el caso de que se identifiquen nuevas alternativas de abasto de agua (como lo puede ser mayores volúmenes de agua subterránea que hasta ahora no han sido identificados) o que el costo real de las alternativas se modifique de forma significativa, es importante volver a correr las simulaciones

⁵Todas las alternativas de agua subterráneas están supeditadas a la elaboración de estudios de los acuíferos más importantes de N.L. Los hallazgos de dichos estudios permitiría a SADM presentar la solicitud ante CONAGUA, para levantar la veda existente en el Estado, y obtener las asignaciones correspondientes para la explotación de dichos proyectos o elaborar una estrategia de redistribución de las asignaciones actuales. Por lo tanto, los proyectos con los que se recomienda iniciar son la construcción de la presa la Libertad, y la reducción de ANC, mientras que de forma simultánea se deben de llevar a cabo los estudios de los acuíferos, que pueden tomarse poco más de dos años en su desarrollo.

Figura 6.3

Diagrama de dispersión de las condiciones de vulnerabilidad del plan adaptativo en cada uno de los periodos de análisis considerados.

Fuente: Molina et al. (2018)



Un ejercicio adicional surgió de correr las modelaciones ya descritas, ahora anteponiendo un cambio estructural tarifario. A través de modelos econométricos se estimaron los efectos potenciales en el mediano y largo plazo, de una serie de cambios en el esquema tarifario .

Dentro de todas las simulaciones realizadas, la propuesta de cambios al esquema tarifario se enfoca en las categorías dos (residencial-unifamiliar), categoría seis (comercio-industria) y categoría 13 (uso público - agua en bloque). Para las tres categorías, se proponen dos cambios: el primero es una simplificación del esquema (reducción de escalones de consumo), y el segundo, el aumento promedio de las tarifas, buscando incentivar una mayor eficiencia en el uso del agua.

Se estimó un nuevo plan adaptativo, partiendo de las simulaciones de los efectos de dichos cambios en las tarifas. Este nuevo plan adaptativo demuestra una reducción significativa de los costos de expansión del sistema en el corto, mediano y largo plazo. Los cambios propuestos al sistema tarifario inducen a una menor demanda de agua en la ciudad, lo que permite diferir inversiones, y, por lo tanto, una evolución de la expansión del sistema menos costosa. Asimismo, los cambios propuestos elevan significativamente los ingresos del operador de agua, lo que le permitiría invertir en el aumento de la eficiencia de su operación, así como en el mantenimiento y expansión de su sistema de distribución de agua.

Referencias

- Fischbach, J., Siler-Evans K., Tierney, D., Wilson, M., Cook, L., and May, L. (2017). Robust Stormwater Management in the Pittsburgh Region: A Pilot Study. RAND Corporation. doi:10.7249/RR1673.
- Groves, D., Yates, D., Tebaldi, C. (2008). Developing and Applying Uncertain Global Climate Change Projections for Regional Water Management Planning. *Water Resources Research* 44 (W12413): doi:10.1029/2008WR006964. doi:10.1029/2008WR006964.
- Groves, D., Jordan, F., Bloom, E., Knopman, D., and Keefe, R. (2013). Adapting to a Changing Colorado River. RR-242-BOR. Santa Monica, CA: RAND Corporation. http://www.rand.org/pubs/research_reports/RR242.html.
- Lempert, R. (2013). Scenarios That Illuminate Vulnerabilities and Robust Responses. *Climatic Change* 117. Springer Netherlands: 627–46. doi:10.1007/s10584-012-0574-6.
- Lempert, Robert J, Steven W Popper, and Steven C Bankes. (2003). *Shaping the Next One Hundred Years: New Methods for Quantitative, Long-Term Policy Analysis*. Santa Monica, California: RAND Corporation, MR-1626-RPC. http://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR1626.
- Molina-Perez, E., Groves, D., Popper, S., Ramirez, A., Crespo, R. (2018). Developing a Robust Water Strategy for Monterrey, Mexico: Diversification and adaptation for coping with climate, economic and technological uncertainties. Santa Monica, California: RAND Corporation. Por publicar.
- Navarro, F. (2017). Herramienta de optimización tarifaria de agua potable en la ciudad de Monterrey y su área metropolitana. Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey.
- Ramírez, A., Herrera, A., Ramírez, S., Gómez, M. (2016). Análisis de alternativas para abastecimiento de agua potable para el Área Metropolitana de Monterrey. Tecnológico de Monterrey. Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey.
- Quinlan, J. R. (1993). C4.5: Programs for Machine Learning. Morgan Kaufmann Publishers.
- Mebane, Jr. and Sekhon, J. (2011). Genetic Optimization Using Derivatives: The rgenoud package for R. *Journal of Statistical Software*, 42(11): 1-26.



NUEVO LEÓN SE ENCUENTRA EN UNA ZONA SUJETA A ACTIVIDAD CICLÓNICA, Y AL MISMO TIEMPO SU CLIMA SE CARACTERIZA POR SER SECO Y SEMISECO. LA GESTIÓN DE RIESGOS POR SEQUÍAS E INUNDACIONES ES FUNDAMENTAL PARA LA SEGURIDAD HÍDRICA DEL ESTADO.

VII. FENÓMENOS EXTREMOS (SEQUÍAS E INUNDACIONES)

Desde el punto de vista meteorológico y climatológico, Nuevo León es un caso muy interesante debido a que se encuentra en la región perteneciente a la llanura costera del Golfo Norte sujeta a actividad ciclónica, al mismo tiempo que la mayoría de su territorio se caracteriza por un clima seco y semiseco. Los fenómenos extremos que periódicamente se presentan en el estado hacen que se encuentre en un entorno retador.

La presencia de estos fenómenos naturales y potencialmente destructivos, tanto en México como en el propio estado de Nuevo León, han dejado ver a lo largo de la historia el enfoque de acción reactiva para la salvaguarda de la población. La legislación mexicana y los programas nacionales han incluido en sus líneas el tema de los fenómenos extremos, siempre con un alto enfoque de atención a la emergencia.

Un ejemplo claro de ello es el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN), programa donde se destinan recursos para la reconstrucción; sin embargo, ello generalmente no reduce de manera importante los impactos que los fenómenos extremos producen ante su ocurrencia. Solo para ilustrar esto, entre 2007 y 2014 se aplicaron recursos por casi 84 mil millones de pesos al FONDEN y apenas un poco más de mil millones al Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN) (DOF, 2014). Esto hace una proporción de apenas el 1.2% de los recursos aplicados a prevención comparados con la atención a la emergencia.

Si se aspira a alcanzar la seguridad hídrica, en lo que se refiere a fenómenos extremos es indispensable que se equilibren estos porcentajes. En Nuevo León y particularmente en el AMM, los efectos que se han generado por el impacto de fenómenos extremos han sido de gran magnitud en términos relativos. Solo como ejemplo, Nuevo León ha tenido pérdidas económicas de aproximadamente 25 mil millones de pesos, tan sólo por cuatro eventos provocados por ciclones tropicales de 2010 a 2013, mientras que Chiapas y Tabasco han perdido alrededor de 15.5 mil millones de pesos en 15 inundaciones registradas durante el periodo de 2002 hasta 2014 (CNPD, 2017).

7.1 FENÓMENOS EXTREMOS EN NUEVO LEÓN

La ocurrencia de los fenómenos extremos, esto es, la presencia de períodos importantes de sequía y la ocurrencia de eventos ciclónicos o lluvias extremas que hayan provocado inundaciones, no presenta una tendencia clara. El análisis de la historia podría sentar las bases para el entendimiento de las decisiones y acciones tomadas en la zona metropolitana y el nivel de afectación que se ha provocado derivado de ello.

Es necesario aprender de los impactos negativos que generan las acciones que van en contra de la propia naturaleza, ya sea por el afán de continuar facilitando el desarrollo económico o por la necesidad de disminuir los efectos que causan los eventos de ocurrencia súbita como las inundaciones. Un ejemplo podrían ser los trabajos realizados para encauzar el río en el año 1950, durante la administración del gobernador Morones Prieto, donde se trató de dirigir el cauce en línea recta, difuminando los meandros naturales del río Santa Catarina (Esparza et al., 2014). Estos trabajos han generado problemas recurrentes en las vialidades marginales, mismas que son atacadas ante la ocurrencia de eventos extraordinarios, pues el río continúa buscando su cauce original.

Como parte del Plan Hídrico N.L. 2050, se realizó un análisis de los ciclos húmedos y secos, de acuerdo con registros de precipitación media mensual del período 1950 - 2014, utilizando la metodología de McKee (1993)¹, donde se calcula un índice estandarizado de precipitación (SPI, por sus siglas en inglés) para una escala temporal de 12 meses. Los valores positivos del SPI indican una precipitación superior a la media y los valores negativos del mismo, una precipitación inferior a la media. Los resultados del análisis se muestran en la Figura 7.1, sobre la cual se han marcado seis periodos de sequía altamente extendida en el tiempo. Asimismo, se señalan los eventos de inundación relacionados con fenómenos ciclónicos o lluvias intensas.

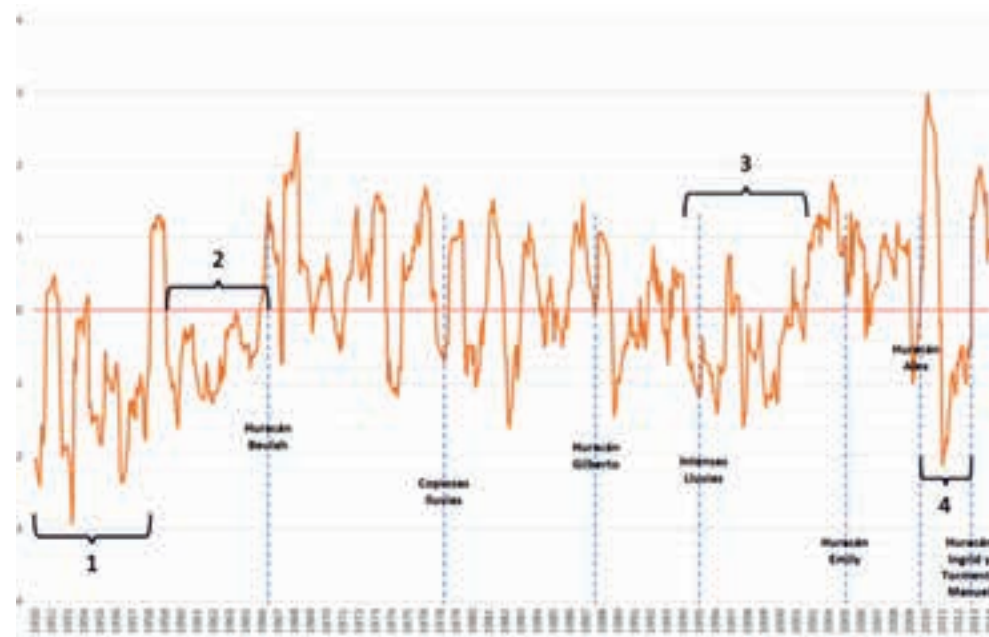


Figura 7.1
Índice estandarizado de precipitación (SPI) a 12 meses con base en registros de precipitación media mensual de 1950 a 2014.

Fuente: Ramírez et al. (2017c).

En la figura 7.1, la zona 1 (1950 a 1957) corresponde al periodo de sequía más extendida de la historia registrada; consta de prácticamente ocho años con índices que se conservan significativamente por debajo de la media de precipitación. Muy cercano a este evento se suscitó un segundo periodo extendido de sequía (1959 – 1966), apenas después de un pequeño periodo de humedad que al final no resultó suficiente para salir de condiciones de sequía. Este periodo es el más devastador del registro, y solo sosegado por la ocurrencia del huracán Beulah en 1967, que además de aliviar la sequía, contrastantemente, provocó severas inundaciones.

¹McKee, Doesken y Kleist desarrollaron en 1993 el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) como un indicador para medir la condición húmeda o seca basado solo en datos e lluvia. Ver en las referencias a McKee et al (1993).

Posterior a estos dos periodos de sequía extendida, y hasta 1994, se establece una cierta alternancia en cuanto a ciclos húmedos y secos, sin prolongarse cada uno de ellos de manera importante en el tiempo, con una oscilación natural. Si bien existieron eventos de escasez que provocaron pérdidas en la ganadería y en la producción agrícola, son más notables los estragos que causaron las copiosas lluvias en 1978, y el huracán Gilbert en 1988.

El tercer periodo de sequía extendida se establece en el intervalo de 1994 a 2002, donde se observan nuevamente ocho años más de sequía, donde las lluvias intensas que se presentaron en 1995 no sofocaron la escasez, sino hasta que las temporadas de lluvias anuales permitieron el aumento de humedad en la región, durante nueve años más. A esta humedad contribuyó el huracán Emily en 2005 y posteriormente el huracán Alex en 2010, aunque con un alto costo económico, pues estos eventos provocaron pérdidas por 726.5 y 21,500.9 millones de pesos, respectivamente.

El último periodo de sequía, considerando los registros hasta el año 2014, tuvo una duración de solo dos años comenzando poco después de la presencia de "Alex" y hasta inmediatamente antes de la ocurrencia del huracán Ingrid y la tormenta Manuel en 2013, siendo ésta una de las peores sequías vividas en el estado en los últimos tiempos.

La información anterior muestra que tanto los eventos de sequías como de inundación presentan una variabilidad natural, misma que podría ser alterada por el cambio climático. Si bien en esencia, estos dos eventos podrían ser analizados en forma independiente, las acciones que se recomienden y se ejecuten deberán tener una visión integral.

Es natural que las poblaciones urbanas tengan una percepción más clara de las inundaciones, sin embargo, los eventos de sequía también generan grandes pérdidas, aunque por lo general en tiempos más largos. Sin medidas de comunicación y divulgación de las autoridades e instituciones que informen sobre el desarrollo de este fenómeno, la población no concebirá los efectos sino hasta que éstos sean inminentes y desastrosos. La evaluación de la vulnerabilidad, peligrosidad y riesgo de las poblaciones, a la escala que corresponda para cada fenómeno natural, debe ser potencializada hasta lograr un mayor control en la prevención y las respuestas ante este tipo de emergencias.

7.2 SEQUÍAS EN NUEVO LEÓN

Las sequías son una amenaza directa al estado y sus opciones de abastecimiento, altamente dependientes de la llegada de humedad, tanto en captaciones superficiales como subterráneas, reafirman la vulnerabilidad en la población y en sus actividades económicas.

De acuerdo con CONAGUA (2017), en Nuevo León el riesgo de sequía es alto en un 3% de su territorio, medio en un 53% y bajo en el 44% restante (figura 7.2). En años recientes, fue precisamente la sequía sucedida durante el periodo de 2011 y finalizada hasta 2013 con la tormenta Ingrid, uno de los eventos más severos sucedidos en el estado, solo después de la acontecida en la década de 1950. Sin embargo, esta sequía fue un evento que azotó no sólo al estado sino a la gran mayoría del país. El evento para Nuevo León, inició en junio de 2011, y debido al impacto que causó, fue necesaria hacer la declaratoria de Contingencia Climatológica. El abastecimiento de agua a la población estuvo al punto del colapso, pues las principales presas usadas para este fin, mostraron un declive en su almacenamiento, registrando así en septiembre de 2013, solamente 19.8% de su capacidad (ITESM, 2015).

A pesar de que se han implementado ciertas acciones para hacer frente a las sequías, como el manejo de cultivos y la construcción de infraestructura de almacenamiento, es aún necesario llevar a cabo acciones de planeación y generación de mecanismos de alerta temprana. Uno de los grandes retos en este tema es, la falta de capacidad institucional y personal especializado para estudiar y entender los fenómenos, lo que a su vez permita derivar en medidas preventivas viables y resilientes. En particular, el tema de las sequías recurrentes es de consideración relevante en el proceso de selección de nuevas fuentes de abastecimiento, procurando tener una oferta diversificada para asegurar que no se encuentren en la misma zona de susceptibilidad a la sequía. Esto incide directamente en el grado de robustez de cada fuente de abastecimiento.

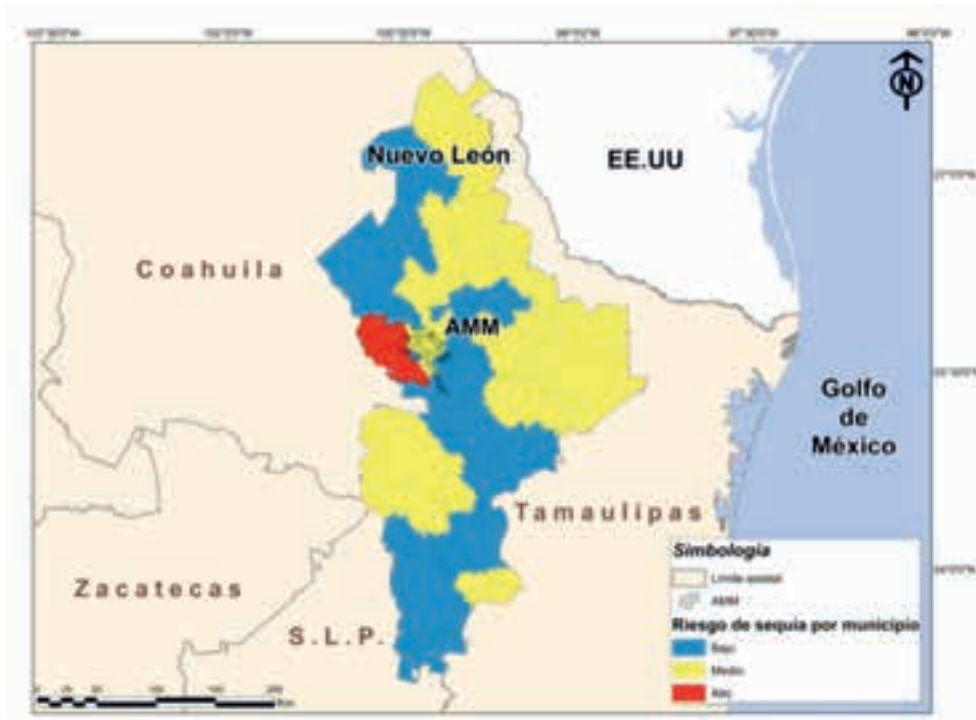


Figura 7.2

Mapa de riesgo por sequía, obtenido de la probabilidad y vulnerabilidad.

Fuente: Ramírez et al. (2017c).

Para hacer frente a los eventos recurrentes de sequía, el gobierno federal impulsó dentro de sus políticas públicas, el Programa Nacional contra la Sequía (PRONACOSE) en el año 2013. Este programa tiene un enfoque de prevención y mitigación, donde su objetivo es elaborar los programas de medidas para prevenir y enfrentar la sequía a nivel de cuenca o grupos de cuenca, desarrollar capacidad institucional local y al mismo tiempo coordinar y ejecutar acciones para mitigar sequías existentes.

Derivado del PRONACOSE, y dentro del enfoque de prevención, se establece la elaboración, implementación y evaluación de Programas de Medidas de Prevención y Mitigación a la Sequía (PMPMS) a nivel de cuenca, para lo que la CONAGUA Organismo de Cuenca Río Bravo emitió en 2014 el correspondiente para la ciudad de Monterrey con el objetivo de contribuir a minimizar los impactos sociales, económicos y ambientales de eventuales situaciones de sequía, extendido para el AMM. Este programa busca implementar (CONAGUA, 2014a):

1. Un proceso para enfrentar las sequías antes, durante y posterior al evento, señalando el qué hacer y quién lo debería ejecutar.
2. Un sistema de alerta confiable y oportuno que registre condiciones meteorológicas e hidrológicas
3. La información y difusión a la población acerca del fenómeno, sus etapas y consecuencias.
4. Medidas preventivas y de mitigación que deberán realizarse durante todas las etapas de la sequía.

De este esfuerzo es importante mencionar que no se logra una evaluación de impactos por eventos de sequía, ni de la vulnerabilidad ante la sequía, pues en el propio documento se deja establecida la complicación que esto representa al no contar con información; por ello la anotación de estudiar las sequías y con mayor ímpetu las recientes, debe ser tomado en cuenta, para lo que quizá un enfoque forense, permita una reconstrucción fiable.

De igual manera, aunque se muestra un plan claro de actuación durante contingencias que emerge directamente del PRONACOSE, éstas serán declaradas únicamente por el comité a cargo, cuya integración total está dada por personal del organismo operador, cuando debería ser una conformación interinstitucional. No obstante, muestran un compilado final de medidas de prevención con gran valor, pues señala el responsable en su ejecución, que igual puede ser alguna dependencia federal o estatal, o hasta particulares, como los usuarios industriales; además muestra el tipo de medida de que se trata, por ejemplo, estructural, administrativa, operativa, etc.

Al ser emitido este documento a finales del año 2014, es indispensable la socialización de los avances en la implementación de tales medidas, con la finalidad de evaluar su efectividad y nivel de observancia. Es así que los alcances planteados de inicio para esta herramienta en el AMM, queda aún con avances importantes por lograr en los temas de alerta y difusión.

Finalmente queda de manifiesto que la zona de estudio no es a nivel de cuenca, sino sólo para el AMM, por lo tanto, el enfoque es urbano, dejando al margen lo rural y las actividades que comúnmente se ven más afectadas, que son la agricultura y el sector pecuario. Esto establece la necesidad imperante de que esta herramienta sea integrada dentro de los programas de desarrollo del estado, con el nivel de detalle que el tema merece y con los actores e involucrados naturales.

7.3 VULNERABILIDAD ACTUAL A LAS SEQUÍAS

Para abordar el tema de sequías en el contexto de este plan, se llevó a cabo un estudio segmentado en tres regiones: norte, centro y sur, reconociendo que entre ellas existen diferencias climáticas². El número total de estaciones climatológicas utilizadas fue de 49. La región norte fue analizada con información de siete estaciones, la centro con 27 y la sur con 15 estaciones. Las lluvias medias anuales para las tres regiones ascienden a 554, 597 y 421 mm, respectivamente.

Al calcular el SPI con la metodología y software propuestos por el *National Drought Mitigation Center* (2017) es posible evaluar a diferentes escalas temporales el comportamiento meteorológico regional. La categorización del SPI se

²Es necesario llevar a cabo estudios más detallados acerca de la frecuencia, duración e intensidad de las sequías en el estado en los que se aborde el diagnóstico, proyecciones y propuestas de acción en torno al fenómeno.

presenta en la tabla 7.1. Es de notar que cuando el SPI es menor a -1, se está en condiciones de sequía. Frecuentemente, el SPI puede calcularse en escalas de 1 a 12 meses, siendo precisamente este último el que en general da la pauta para una evaluación integral de los eventos de sequía, puesto que en esa escala de tiempo se tienen afectaciones a almacenamiento en presas y acuíferos.

| Valor SPI | Categoría |
|---------------|---|
| 2.00 o mayor | Extremadamente húmedo |
| 1.5 a 1.99 | Muy húmedo |
| 1.0 a 1.49 | Moderadamente húmedo |
| 0.0 a 0.99 | Ligeramente húmedo (moderadamente normal) |
| 0.0 a -0.99 | Ligeramente seco (moderadamente normal) |
| -1.00 a -1.49 | Moderadamente seco (sequías moderadas) |
| -1.49 a -1.99 | Muy seco (sequías severa) |
| -2.00 o menor | Extremadamente seco (sequía extrema) |

Tabla 7.1

Clasificación de SPI.

Fuente: Torres, 2014.

La tabla 7.2 muestra los resultados por región de la estimación del SPI de 12 meses, utilizando una base histórica de los últimos 65 años. Como se puede observar, la zona norte es la que ha presentado más sequías del tipo extremo, con una ocurrencia de 2.9% (23 meses aproximadamente de 780 analizados), mientras que, la región Centro es la que menos las ha resentido.

Respecto a la sequía moderada, la región Centro muestra una mayor ocurrencia, donde, aunque los riesgos ambientales podrían ser menores, en ella se encuentra el AMM, lo que obliga a tomar medidas de gestión adecuadas para poder cumplir con las demandas requeridas por los usuarios, así como, de los procesos operativos industriales.

| Zona | Tipo de sequía | | |
|--------|---------------------------|---------------|----------------|
| | Sequía Moderada | Sequía Severa | Sequía Extrema |
| | % Ocurrencia de la sequía | | |
| Norte | 7.7 | 3.1 | 2.9 |
| Centro | 10.6 | 3.3 | 2.2 |
| Sur | 8.8 | 3.2 | 2.8 |

Tabla 7.2

Porcentaje de ocurrencia de la sequía para el SPI de 12 meses, con base en un análisis histórico de 65 años.

Fuente: Ramírez et al (2017c).

7.4 ALTERNATIVAS DE ACCIÓN Y RECOMENDACIONES PARA AFRONTAR Y MITIGAR LOS EFECTOS DE LA SEQUÍA

A continuación, se muestran las acciones que al día de hoy deberían ser analizadas a fondo para alcanzar un enfoque integral en la gestión del riesgo.

Medidas de mitigación estructurales

- > Diversificación de las fuentes de agua. Esto implica incrementar la robustez del sistema de SADM ante futuras sequías en el Estado.
- > Reúso de agua tratada más allá del riego de áreas verde y jardines, así como implementación la reutilización de aguas grises en el ámbito urbano y rural.
- > Construcción de sistema de recarga inducida para acuíferos. Esta estrategia es dominante en el largo plazo por su robustez ante sequías prolongadas.
- > Reducción del ANC tanto en el AMM, como en la zona no metropolitana. Esto implica el desarrollo de un plan para disminuir todos los componentes del ANC (fugas, clandestinaje, errores de medición).

Medidas no estructurales

- > Promoción y apropiación de hidrotecnologías que apoyen el uso eficiente de agua en zonas rurales y urbanas.
- > Investigación e implementación de cultivos resistentes a las sequías y adaptables al entorno.
- > Investigación de las aguas subterráneas por acuífero. Además de ser un proyecto indispensable para habilitar mayores explotaciones de los acuíferos para el abasto de agua del AMM, es todavía más importante para la gestión de riesgos por sequías. El conocimiento a profundidad de los acuíferos permite tener una gestión de riesgos, y de políticas de sobreexplotación temporal de los acuíferos para los casos de sequías.
- > Desarrollo de los Programas "PMPMS" para cada una de las cuencas del estado
- > Estudios sobre pronóstico, atención y mitigación de la sequía
- > Investigación con enfoque forense de las últimas sequías ocurridas.
- > Establecimiento de políticas de operación de las fuentes de agua de SADM para la gestión de sequías.
- > Implementación de un sistema tarifario de emergencia ante sequías prolongadas. Este mecanismo es ampliamente utilizado en países desarrollados como respuesta a emergencias por sequías. Además de tener un efecto significativo sobre el consumo de agua, se envía una señal muy fuerte a la ciudadanía sobre el verdadero valor del agua, particularmente en épocas de sequías.

La relevancia de las sequías en el estado en el contexto del Plan Hídrico Nuevo León 2050 se pone de manifiesto en su relación con la seguridad del abastecimiento de agua potable. La vulnerabilidad a este fenómeno realza la importancia de contar con fuentes robustas y resilientes a variaciones en el clima. En este sentido, alternativas para el incremento de la oferta como el proyecto de inyección inducida de agua residual tratada y la planta desalinizadora en Matamoros cobran especial relevancia.

Adicionalmente, en este contexto es muy importante disponer de estudios completos y actuales de los acuíferos de interés en el AMM en virtud de que es precisamente el agua subterránea una pieza clave para poder satisfacer las demandas en épocas de déficit de aguas superficiales. La operación conjunta racional de las diferentes fuentes de abastecimiento es obligatoria es una acción que permite afrontar de mejor manera las sequías.

7.5 INUNDACIONES EN NUEVO LEÓN

Debido a la ubicación del estado de Nuevo León por su cercanía a la llanura costera del Golfo norte, las precipitaciones, ya sea por procesos convectivos, orográficos o ciclónicos, y la rapidez de respuesta en sus cuencas, así como la falta de infraestructura en suficiencia y en extensión, para el desalojo de las aguas pluviales, entre otros factores, generan problemas ante diferentes tipos de eventos.

Una cuantificación realizada con base en registros del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), establece que, de los años recientes, 2010 fue el más azotado por los impactos derivados por fenómenos naturales (Figura 9.5). Primero por fuertes lluvias ocurridas en el mes de abril, seguidas por el impacto de la tormenta tropical Alex³ a finales de junio, y finalizando con otra racha de fuertes lluvias en el mes de septiembre. La ocurrencia de la tormenta tropical Alex en el año 2010, así como la inundación de 1909 y el Huracán Gilbert en 1988 dejan clara la necesidad en la implementación de medidas, tanto estructurales como no estructurales, que apoyen a la resiliencia de la ciudad.

El gobierno federal, a través del CENAPRED, ha emitido guías básicas para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos, y recientemente se ha unido con la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), antes a través de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), para el desarrollo e implementación de estas herramientas. Sin embargo, Nuevo León muestra aún un rezago en el desarrollo e implementación de estos documentos. Se reconoce que dichas herramientas deben cubrir tres puntos fundamentales (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2014):

1. Conocer los peligros y amenazas para saber dónde, cuándo y cómo nos afectan.
2. Identificar y establecer en el ámbito nacional, estatal, municipal y comunitario, las características y los niveles actuales de riesgo ante esos fenómenos.
3. Diseñar acciones y programas para mitigar y reducir oportunamente estos riesgos a través del reforzamiento y adecuación de la infraestructura, mejorando normas y procurando su aplicación, y finalmente, preparando e informando a la población para que sepa cómo actuar antes, durante y después de una contingencia.

El esfuerzo en el ámbito estatal para reforzar el enfoque preventivo y no sólo depender del reactivo, se limita a la elaboración de atlas de riesgos. Actualmente existen dos tipos de documentos en el tema de atlas de riesgo:

1. De forma agregada se tienen dos documentos que abordan por un lado los municipios conurbados (Secretaría de Desarrollo Sustentable, 2010) y otro que agrega al resto de los municipios (Secretaría de Desarrollo Sustentable, 2013), con un enfoque de riesgo que aborda aspectos geológico, hidrometeorológico y antropogénico.
2. De enfoque municipal, solamente tres municipios cuentan con su Atlas de Riesgo, éstos son: Monterrey (Gobierno Municipal de Monterrey, 2009), San Pedro Garza García (Municipio de San Pedro Garza García, 2012) y Lampazos de Naranjo (Municipio de Lampazos de Naranjo, 2011).

³Aunque coloquialmente se le conoce como "huracán Alex", se trató de un fenómeno de origen ciclónico que en efecto alcanzó la categoría de huracán. Sin embargo, al momento de impactar el AMM, ya había decrecido a tormenta tropical.

Sin embargo, los esfuerzos realizados únicamente se han enfocado a abordar el dónde suceden los eventos y sus amenazas, del punto número uno; sin embargo, no se está profundizando respecto al cuándo y cómo ocurrirán. También, dentro del punto tres se abordan las acciones y programas para mitigar y reducir oportunamente los riesgos a través del fortalecimiento y adecuación de la infraestructura, mejorando normas y procurando su aplicación.

Por el lado de acciones estructurales, ciertamente se han tomado ciertas medidas para disminuir el riesgo y los impactos para el estado. Estas medidas son:

- a) Canalización del río Santa Catarina
- b) Construcción de la cortina Rompepicos
- c) Canalización del Arroyo Seco y Topo Chico
- d) Construcción de drenaje pluvial parcial
- e) Sistema de alerta temprana (principalmente para la cuenca del arroyo Topo Chico)

Es muy importante que todas las acciones que se presentan como proyecto, una vez anunciadas, sean efectivamente ejecutadas. Esto para evitar las confusiones entre las propias instituciones y la población y no crear falsas expectativas de seguridad que podrían convertirse en un factor importante que abone a la vulnerabilidad. Finalmente, la comunicación interinstitucional, así como con la población, se ha puesto a prueba, no sólo en los momentos de respuesta a la emergencia sino también en los momentos de reconstrucción y recuperación.

Ya se ha descrito que la infraestructura y equipamiento urbano, para el caso del AMM, es lo que más ha padecido daños. De ellos, el que mayor presencia mantiene en la memoria de los neoleoneses, es el daño que se causa sobre las principales vialidades de la ciudad. Además, con las lluvias estacionales, cada año se tienen problemas de circulación, por caos principalmente en los pasos a desnivel. Todo ello ha sido arrastrado de decisiones y voluntades políticas de una administración a otra.

El caso emblemático podría ser la vialidad Morones Prieto – Constitución, por precisamente estar emplazadas paralelamente al cauce del río Santa Catarina aunado a las decisiones tomadas justamente después de ocurrido el desastre provocado por la tormenta tropical Alex. La falta de comunicación entre los gobiernos Federal y Estatal fue manifiesta, pues mientras el primero se coordinaba entre la CONAGUA y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) para iniciar los trabajos de manera inmediata y con la misión de reparar la vialidad de tal forma que quedara como antes de "Alex", la segunda aseguraba tener opciones de reconstrucción diferentes y permanentes que podrían soportar eventos mayores que este meteoro.

7.6 VULNERABILIDAD ACTUAL A LAS INUNDACIONES

Para el caso de las inundaciones y particularmente las sucedidas en el AMM, se partió de los modelos hidrológicos e hidráulicos desarrollados por el Tecnológico de Monterrey⁴. Estos estudios fueron actualizados con información más reciente⁵. Los principales hallazgos generados a partir de la actualización indican que:

⁴Reconstrucción del Río Santa Catarina después del huracán Alex. Estudio hidrológico y estudio hidráulico, ITESM, 2011.

⁵Se establece la necesidad de llevar a cabo una actualización completa de los estudios considerando la incorporación de información climatológica, hidrométrica, de vegetación y uso del suelo.

- > Los eventos para periodos de retorno tanto de 500 como de 1,000 años, utilizados en los estudios post-Alex, han incrementado su magnitud.
- > La cortina rompepicos cuenta con niveles de seguridad menores a los del diseño original. En principio, la cortina, que fue concebida para periodos de retorno de 10,000 años, podría ser adecuada solo para eventos del orden de 1,000 años.
- > La cortina rompepicos continúa siendo un elemento muy importante en el control de inundaciones, pero su beneficio medido como amortiguamiento del pico de las avenidas va disminuyendo para grandes periodos de retorno. Este caso amerita, sin duda, la realización de un proyecto detallado y específico orientado a evaluar tanto la verdadera seguridad hidrológica de la cortina, como la seguridad estructural de la misma, a la luz de su operación en eventos anteriores.

La ejecución del modelo hidráulico del río Santa Catarina en HEC-RAS desde el puente de la autopista a Saltillo hasta el puente López Mateos, se realizó sobre la base de una nueva topografía proporcionada por la CONAGUA. Esta información fue levantada en 2013 (CONAGUA-OCRB, 2014). Además de la topografía, sobre la cual se evidencia la falta de información en un número parcial de secciones transversales, se actualizaron los coeficientes de rugosidad del cauce. Esto a la luz de que existen tramos en los que tanto el cauce principal como las márgenes se encuentran cubiertas con una densa vegetación que se transforma, desde el punto de vista hidráulico, en un elemento de resistencia al flujo que condiciona y reduce la capacidad del cauce. Como se mencionó, existen secciones en los que es evidente que falta extenderlas hacia las márgenes.

Derivado de la actualización de la información se encuentra que:

- > El evento asociado con una lluvia de 700 años de periodo de retorno genera el desbordamiento del 60% de las secciones sobre margen derecha y el 63% de desbordes sobre margen izquierda.
- > En las condiciones actuales de la topografía, aún el evento de 10 años de periodo de retorno genera algunos problemas. Con estos resultados resulta urgente llevar a cabo estudios más detallados a fin de incrementar la confianza en las conclusiones, así como para determinar posibles riesgos sobre la infraestructura de cruce en el río, especialmente los puentes antiguos. Es necesaria una gestión integral en uso de suelo y cauces, que permita un control natural de los escurrimientos, además de la infraestructura hidráulica que se pudiera implementar, y para que se pueda incrementar la capacidad hidráulica requerida en el cauce, pues mientras prolifera la vegetación tan densa y grande, será un obvio obstáculo para el curso del agua, que a su vez podría magnificar el impacto por la ocurrencia del algún fenómeno natural, así como las obras de infraestructura construidas en los cauces de los ríos sin la capacidad hidráulica suficiente y por la invasión de zonas federales y cauces.

Derivado de estos hallazgos, resulta imperativo abordar el problema de las inundaciones desde un punto de vista de manejo del riesgo. Es importante fortalecer la capacidad del sistema mediante medidas tanto estructurales como no estructurales a fin de brindar protección a los ciudadanos y a la infraestructura urbana, sobre todo ante eventos extraordinarios, tales como huracanes de gran intensidad.

Después de la incidencia de la tormenta tropical Alex en 2010, se buscó conformar el cauce para que pudiera manejar avenidas entre 500 y 1000 años. Es importante subrayar que a través de acciones en la cuenca alta es posible controlar gastos pequeños y retener sedimentos con obras de restauración, sin embargo los eventos grandes solamente serán amortiguados con infraestructura de control. El uso conjunto de estas acciones permitirá disminuir el riesgo asociado con eventos extraordinarios asociados con inundaciones.

Asimismo, por lo que respecta a la actualización de los estudios, es necesario llevar a cabo un análisis crítico y a profundidad de los registros climatológico e hidrométricos; actualizar el uso del suelo y la cobertura vegetal de la cuenca con base en las últimas publicaciones de INEGI; llevar a cabo el análisis de frecuencias de los eventos utilizando otras funciones de distribución de probabilidad para tomar en cuenta posibles cambios en los comportamientos; actualizar y completar el levantamiento topográfico del cauce en su canal principal y sus márgenes; y calibrar los modelos hidrológicos e hidráulicos a la luz de toda esa información. Todo esto robustecerá los modelos y sus estimaciones.

7.7 ALTERNATIVAS DE ACCIÓN Y RECOMENDACIONES PARA AFRONTAR Y MITIGAR LOS EFECTOS

Entre las acciones orientadas a alcanzar un enfoque integral para la gestión del riesgo asociado con inundaciones se encuentran las siguientes:

Medidas estructurales

Acciones en la cuenca alta

- > Proyecto y construcción de una segunda cortina rompepicos en la cuenca libre aguas debajo de la cortina actual en Corral de Palmas. Esto para el control de grandes eventos.
- > Mantenimiento de la cortina rompepicos en Corral de Palmas, incluyendo su instrumentación.
- > Construcción de pequeñas presas de gaviones en algunos arroyos tributarios al río Santa Catarina, a fin de amortiguar los picos pequeños y controlar el aporte de sedimentos.
- > Localización e instalación de zonas de retención, detención e infiltración.

Acciones sobre el cauce, que permitan devolver al río su función, su territorio y su dinámica.

- > Mantenimiento, limpieza de vegetación y basura, así como dragado. Esto implica retirar la vegetación existente en el lecho y márgenes que está ofreciendo una gran resistencia al flujo.
- > Reevaluar los pasos a desnivel o vados presentes sobre las vialidades paralelas al cauce del río Santa Catarina, con el afán de invadir en la menor proporción posible el ancho y la capacidad hidráulica del cauce.
- > La reconstrucción, canalización o reconfiguración de las secciones del río Santa Catarina, que es necesaria para el manejo seguro de una avenida con un cierto periodo de retorno.
- > Conformación de una sección trapecial del cauce del río Santa Catarina en los tramos antes y después del correspondiente a la zona urbana y una sección compuesta en la zona urbana.
- > Construcción de bordos marginales o taludes inclinados sobre las márgenes del río Santa Catarina con el afán de rescatar más área en las márgenes y reducir los tramos "húmedos".

Cuenca Baja

- > Elaboración de un plan maestro de drenaje pluvial

Medidas no estructurales

Inventarios

- > A falta de programas integrales, se podría realizar inventarios de zonas potencialmente inundables. Se pueden tomar como base los Atlas de Riesgo municipales agregados, tanto el de municipios metropolitanos como el del resto de municipios.
- > Registro de inundaciones históricas que contengan gasto estimado, huella de la avenida y daños ocasionados. Seguramente este tipo de información ya se tenga en algunas bases de datos tanto de dependencias en los tres niveles de gobierno, así como instituciones académicas, sin embargo, se supone desagregada. Concentrar toda esta información dentro del gobierno estatal y que sirva como base para los análisis correspondientes, sería una herramienta de un alto valor.

Proyectos

- > Zonificación de la llanura de inundación en zonas restringida, de advertencia y prohibida. Esta zonificación debe ir íntimamente ligada con los ordenamientos territoriales.
- > Establecer relaciones entre los parámetros que miden la magnitud de la inundación, como lo son el gasto máximo, la precipitación, el tirante, la velocidad, la permanencia de la inundación y la valoración de los daños de la zona afectada.
- > Análisis de arrastre de sedimentos por los cauces, cambios en la geometría de la sección con el asolvamiento y disminución de capacidad hidráulica del cauce.
- > Integración y automatización del uso de modelos con información de lluvias en tiempo real para obtener mapas de inundación en cuasi tiempo real, para la generación de alertas a la población.
- > Desarrollo de mapa de riesgos actualizados atendiendo a todas las falencias ya comentadas en este documento, para lograr un entendimiento extendido y universal, así como potenciarlo como una verdadera herramienta.
- > Evaluar la calidad y diseño de infraestructura y realizar un análisis de riesgo y de costo beneficio.
- > Análisis de las políticas de operación de los sistemas con un enfoque integral, no sólo desde la perspectiva del abastecimiento, sino en conjunto con la visión del manejo de los recursos hídricos.

Programas permanentes

- > Actualización y estandarización de los atlas y mapas de riesgo municipales en forma individual y no agregada, así como de los planes de contingencia y protocolos de operación.
- > Mantenimiento e inversión de la red de monitoreo hidrometeorológico para todo el estado de Nuevo León.
- > Adquisición, instalación, calibración y puesta en marcha de un radar meteorológico con cobertura a toda el AMM.

- > Instrumentar el Sistema de Alerta Temprana (SAT) a nivel estatal o local (AMM), con base en el SAT Nacional, administrado por Protección Civil estatal, con las estaciones pluviométricas y centros de registro en el AMM y luego ser expandido en el ámbito del estado.
- > Implementar medidas de adaptación para uso del suelo y manejo de los cauces. Entre las medidas de adaptación más resilientes e integrales están las acciones de protección a la erosión, restauración y preservación en las partes altas de las cuencas, que además reducir el escurrimiento, también coadyuvan a la infiltración hacia acuíferos.
- > Iniciar y mantener un enfoque preventivo, por ejemplo, fortaleciendo instrumentos financieros de gestión del riesgo privilegiando la prevención, no así olvidando la atención y reconstrucción en casos de emergencia, sino robusteciéndola.
- > Fortalecer y robustecer los planes de ordenamiento territorial y reglamentos de uso de suelo, incorporando mejores prácticas relacionadas con criterios hidrológicos.
- > Prever una reglamentación para la ocupación de llanuras de inundación.
- > Delimitar responsabilidades para cada municipio en la zona conurbada.
- > Evitar la instalación de asentamientos humanos en las zonas de alto riesgo hidrológico y establecer esquemas para regularizar los asentamientos humanos, que tengan de soporte los tres niveles de gobierno.
- > Prever el pago de impuestos que contemple seguro contra inundaciones, en todas aquellas ocupaciones de zonas inundables.

En resumen, existen al menos tres aspectos fundamentales que se deben de atender para reducir los riesgos por inundaciones:

1. Mantener la gestión del riesgo como estratégica de forma permanente. Para ello se propone:
 - a. Llevar a cabo la conformación del cauce del río Santa Catarina a su sección de proyecto derivada del estudio de 2011. Los trabajos de conformación del cauce iniciaron del puente de la autopista a Saltillo hacia aguas abajo, sin embargo, no fueron concluidos como se había recomendado, hasta el límite de la zona urbana. Es importante continuar con estos trabajos para contar con la capacidad de diseño.
 - b. Mantener el cauce libre de vegetación y maleza a fin de que cuente con la capacidad hidráulica adecuada. La vegetación que ha proliferado en el cauce del río Santa Catarina presta un servicio ambiental en la captura de carbono. Sin embargo, desde el punto de vista hidráulico, la vegetación en el cauce hace perder hasta dos terceras partes de su capacidad. Ante la ocurrencia de una avenida mediana a grande, con las condiciones actuales de vegetación, se presentarán problemas de desbordamiento e inundación en las márgenes, debida al remanso que se forma precisamente por la falta de capacidad. En ese sentido es necesario llevar a cabo un estudio que pudiera balancear la recuperación de la capacidad a través del control de especies seleccionadas de la vegetación.
 - c. Propiciar el uso de técnicas sostenibles de drenaje urbano, privilegiando el concepto del control del escurrimiento cerca de la fuente.

2. Ejecución de proyectos relevantes

a. Proyecto y construcción de una segunda cortina rompepicos a fin de controlar la cuenca aguas abajo de Corral de Palmas. La mejora en la conservación de la cuenca a través de la reforestación, así como pequeñas presas de gaviones, generan beneficios en el control de los sedimentos y tiene efectos positivos en el control de pequeñas avenidas. Sin embargo, ante la ocurrencia de grandes eventos, es necesario disponer de una infraestructura de control en la cuenca libre aguas debajo de la actual cortina rompepicos.

El proyecto de una segunda cortina de control de avenidas debe abordarse en forma objetiva, dando la justa importancia del beneficio hidrológico y considerando los posibles impactos ambientales y sociales implicados. El beneficio de este proyecto en la seguridad del AMM contra inundaciones es más plausible para eventos con periodos de retorno mayores a 50 años, que son los que causan mayores daños.

b. Llevar a cabo el estudio de la seguridad actual de la cortina rompepicos en Corral de Palmas. Después de la ocurrencia de la tormenta tropical Alex, la cortina rompepicos presentó algunas filtraciones ligeras cerca de los empotramientos laterales y la descarga de agua socavó la zona aguas abajo al pie de la cortina. Es necesario realizar estudios para determinar tanto la seguridad hidrológica como la seguridad estructural de la cortina y llevar a cabo las acciones que de esos estudios técnicos se deriven.

c. Desarrollar un Sistema de Alerta Hidrológica que integre los aspectos hidrometeorológicos, hidrológicos e hidráulicos, preferentemente sobre la base de la instalación de un radar meteorológico. Está demostrado que resulta mejor y más económico prevenir que atender los daños generados por eventos extraordinarios. En este sentido, se deberá iniciar con el desarrollo de un sistema de alerta hidrológica en las cuencas de los ríos que afectan al AMM. El sistema debe ser capaz de detonar acciones orientadas a disminuir el riesgo de la infraestructura, y sobre todo, de la pérdida de vidas humanas. Una propuesta es la adquisición, instalación, puesta en marcha y calibración de un sistema basado en un radar meteorológico y en estaciones meteorológicas automáticas que permitan alimentar modelos hidrológicos e hidráulicos que mapeen el riesgo de inundación.

3. Comunicación interinstitucional

a. Establecer un comité técnico en materia de contingencias hidrometeorológicas en el cual participen la CONAGUA, el Gobierno del Estado, SADM, Protección Civil y expertos en el tema en representación de las universidades locales.

Referencias

- Centro Nacional de Prevención de Desastres (2014). Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Serie: Atlas Nacional de riesgos y su representación geográfica. Coordinación Nacional de Protección Civil México - CENAPRED.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (2017). Impacto socioeconómico de los Desastres. De la vulnerabilidad a la Resiliencia. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Coordinación Nacional de Protección Civil México - CENAPRED.
- CONAGUA (2010). Estudio hidráulico del río Santa Catarina, Monterrey, Nuevo León. Monterrey: Elaborado por el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey para la Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA (Septiembre de 2017). Comisión Nacional del Agua. Obtenido de Mapa de municipios en riesgo por sequía: <http://catalogo.datos.gob.mx/dataset/municipios-en-riesgo-por-sequias>
- CONAGUA (2014). Política Pública Nacional para la Sequía.
- CONAGUA (2014a). Programa de Medidas Preventivas de Mitigación de la Sequía. Monterrey, N.L.: Secretaría de Medio Ambiente y recursos Naturales. CONAGUA Organismo de Cuenca Río Bravo.
- CONAGUA-OCRB. (2014). Topografía del 0+000 al 27+000_09 Abril 2014. Monterrey, México.
- DOF, Diario Oficial de la Federación. (2014). Programa Nacional de Protección Civil 2014-2018. Secretaría de Gobernación.
- Esparza L.G, Valdés C.G, Cantú P.C, Mora G. (2014). Historia de las crisis del agua en el área metropolitana de Monterrey, previa a la llegada de las grandes represas (1597-1955). Revista Ciencia UANL, Año 17, No. 63, Mayo-Junio 2014.
- Gobierno Municipal de Monterrey. (2009). Atlas de Riesgos. Actualización 2009. Gobierno Municipal de Monterrey. Secretaría de policía preventiva municipal de Monterrey. Dirección Municipal de Protección Civil. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (2015). Agua para Monterrey. Monterrey: Tecnológico de Monterrey. Centro del agua para América Latina y el Caribe. Con el apoyo de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey.
- McKee T., Doesken N., Klesit J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Department of Atmospheric Science. Eighth Conference on applied Climatology; 17-22 January 1993; U.S.A: Colorado State University, (págs. 174-184). Colorado.
- Municipio de Lampazos de Naranjo. (2011). Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Lampazos de Naranjo. Municipio de Lampazos de Naranjo: Gobierno Federal. Secretaría de Desarrollo Social. Constructora Fase Cuatro, S.A de C.V.
- Municipio de San Pedro Garza García. (2012). Atlas de riesgos Naturales del Municipio de San Pedro Garza García. Secretaría de Desarrollo Social. Universidad Autónoma de Nuevo León, para Municipio de San Pedro Garza García.
- National Drought Mitigation Center (24 de Agosto de 2017). National Drought Mitigation Center. Obtenido del Program to Calculate Standardized Precipitation Index: <http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>
- Ramírez, A. (2011). Reconstrucción del Río Santa Catarina después del huracán Alex. Estudio hidrológico y estudio hidráulico, ITESM, CONAGUA.
- Ramírez, A., Herrera, A., Ramírez, S., Gómez, D., Torres, E., Montelongo R. (2017a). Modelación hidrológica de la cuenca del río Santa Catarina. ITESM, Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey.
- Ramírez, A., Herrera, A., Ramírez, S., Gómez, D., Torres, E., Montelongo R. (2017b). Modelación hidráulica de la cuenca del río Santa Catarina. ITESM, Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey.
- Ramírez, A., Herrera, A., Ramírez, S., Gómez, D., Torres, E., Montelongo R. (2017c). Análisis de la ocurrencia de sequías en Nuevo León. ITESM, Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey.
- SADM. (2010). Tormenta Tropical Alex. Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey. Monterrey: Gobierno del Estado de Nuevo León. Servicios de agua y Drenaje de Monterrey. Gerencia de Comunicación y cultura. Secretaría de Desarrollo Sustentable. (2010). Atlas de Riesgo para el Estado de Nuevo León, segunda etapa. Gobierno del Estado de Nuevo León. Poder Ejecutivo. Secretaría de Desarrollo Sustentable.
- Secretaría de Desarrollo Sustentable. (2013). Atlas de Riesgo para el Estado de Nuevo León, primera etapa. Gobierno del Estado de Nuevo León. Poder Ejecutivo. Secretaría de Desarrollo Sustentable.
- Torres, U. E. (2014). Análisis Regional de Frecuencia de Sequías en el Norte de México. Monterrey, Mexico.



LAS CARACTERÍSTICAS DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN SON MUY PARTICULARES, YA QUE PERMITEN LA CONVERGENCIA DE DISTINTOS CONTRASTES CLIMÁTICOS, OROGRÁFICOS Y GEOLÓGICOS.

VIII. CONSERVACIÓN DE CUENCAS¹

Aun cuando no es usual que, en un ejercicio convencional de planeación hídrica de una cuenca o un estado, se incluya un apartado específicamente orientado a la conservación de cuencas, este se ha decidido considerar en el Plan Hídrico Nuevo León 2050 en reconocimiento del rol que desempeña la salud de las cuencas en el balance hídrico en general, y sobre todo como elementos productores de agua. No se puede concebir un plan que esté orientado a contribuir a la gestión integral del agua en el estado sin abordar esta importante dimensión. En este apartado se presentan algunos de los hallazgos que, en materia de cambio de uso de suelo, biodiversidad y otras variables se encontraron en un análisis desarrollado en el contexto del presente plan.

Las características del estado de Nuevo León son muy particulares, ya que permiten la convergencia de distintos contrastes climáticos, orográficos y geológicos. Dichos contrastes dan como resultado la presencia de 14 cuencas hidrográficas en su territorio, las cuales presentan una gran biodiversidad que debe priorizarse en materia de protección ambiental mediante un manejo integral de las mismas.

En este contexto se realizó un diagnóstico de la condición de conservación de dichas cuencas hidrológicas, a través del análisis de variables que permitieran construir índices para jerarquizar la condición relativa de las cuencas desde las perspectivas física, biológica y social. Asimismo, se elaboraron propuestas para reducir las brechas ambientales existentes.

8.1 CAMBIO DE USO DE SUELO

Durante el último lustro la población humana ha modificado los ecosistemas del planeta de una manera cada vez más acelerada. Las tendencias globales en los cambios de biodiversidad y la remoción de millones de hectáreas de vegetación natural menguan los procesos que atañen de forma directa los servicios ambientales. El estado de Nuevo León a su vez ha presentado importantes cambios en el uso del suelo durante el periodo de 1997 a 2013. Estos cambios ocurridos en el tiempo a través de las cinco series de vegetación disponibles (INEGI, 1997, 2001, 2005, 2009, 2013), se muestran en la figura 8.1.

¹Esta sección es un resumen del documento "Diagnóstico de la Condición de Conservación de las Cuencas Hidrológicas de Nuevo León" que fue desarrollado por la UANL, en el contexto de este Plan Hídrico. La liga al documento completo se encuentra en el Anexo A de este documento.

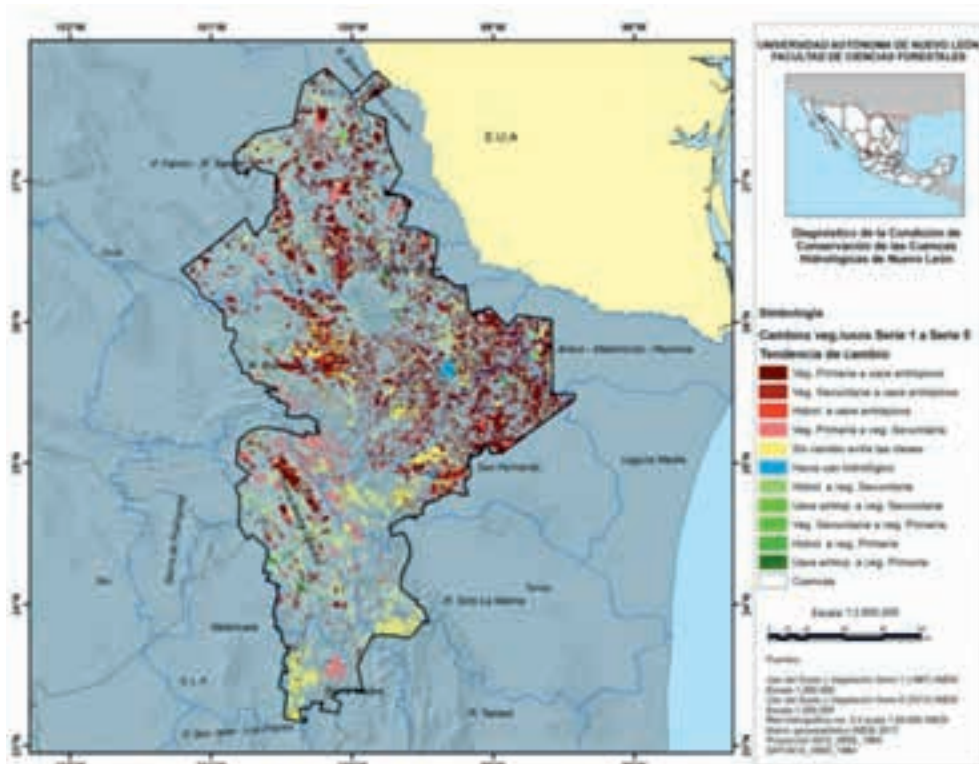


Figura 8.1
 Mapa de análisis de cambios en el uso del suelo y vegetación entre las series 1 y 5 en Nuevo León.
 Fuente: INEGI, 1997, 2013.

El cambio que se presentó durante este período fue una reducción del 15.3% de la vegetación natural (969,828 ha), de la cual el 12.4% se dio en su condición primaria y el 2.9% de la condición secundaria. Los usos antrópicos tuvieron un incremento del 14.9% y los cuerpos de agua se incrementaron en un 0.32%. Durante este periodo la cobertura de vegetación natural experimentó una tasa media de pérdida anual del 0.51%.

Dentro de las cuencas que convergen en el estado de Nuevo León se observa una mayor pérdida de vegetación natural en la cuenca Río Bravo – San Juan, en donde se pierden en promedio 12,142 ha al año. Bajo esta consideración, dentro del territorio estatal, es esta cuenca la que tiene la mayor importancia en cuanto a pérdida de vegetación natural, ya que en ella se han efectuado la mayor cantidad de procesos de cambio en uso de suelo (agrícolas, pecuarios y urbanos).

8.2 ÍNDICE DE JERARQUIZACIÓN

El diagnóstico de la condición de la conservación de las cuencas del estado se llevó a cabo a través de meta-análisis. Particularmente, se construyeron 19 índices que jerarquizan la condición relativa de estas cuencas desde las diversas perspectivas: física, biológica y social. A partir de estos índices se generó un “índice de jerarquización para cerrar las brechas ambientales”, el cual es la base que se utilizó para priorizar las acciones y los programas encaminados para restaurar y mejorar las condiciones ambientales de las cuencas que lo requieran. Los 19 índices que sirvieron de base para generar este índice de jerarquización, fueron considerados en cuatro grupos distintos que se subdividen en índices con valores tanto positivos como negativos (tabla 8.1).

| Índice de Jerarquización para Cerrar las Brechas Ambientales | | |
|--|-------------------|--|
| Índices de Diversidad de las Cuencas | Índices positivos | 1. Índice de Riqueza de Especies de Flora 2. Índice de Flora Endémica 3. Índice de Riqueza de Especies de Fauna 4. Índice Fauna Endémica 5. Índice de Riqueza de Ambientes 6. Índice de Valor Ecológico |
| | Índices negativos | 7. Índice de Flora en Riesgo de Extinción 8. Índice de Flora Exótica-Invasora 9. Índice de Fauna en Riesgo de Extinción 10. Índice de Fauna Exótica |
| Índices Hidrológicos | Índices positivos | 11. Índices de Escurrimiento de las Cuencas 12. Índice de Medición del Ciclo Hidrológico |
| | Índices negativos | 13. Índice de Disponibilidad de Agua en las Cuencas 14. Índice de Erosión de las Cuencas 15. Índice de Evapotranspiración Real |
| Índices de Conservación de las Cuencas | Índices positivos | 16. Índice de Conservación de Sitios con Declaratoria Oficial 17. Índice de Conservación de Sitios Prioritarios Propuestos |
| Índices Sociales de las Cuencas | Índices positivos | 18. Índice de bienestar social |
| | Índices negativos | 19. Índice de Impacto Ambiental |

Tabla 8.1
 Índices evaluados para jerarquizar la condición relativa de conservación de las cuencas.
 Fuente: Cantú et al. (2017)

Teniendo en cuenta estos índices, se obtuvieron los porcentajes de los valores positivos y negativos con el fin de realizar un análisis cuantitativo que permitiera jerarquizar las cuencas respecto al grado de conservación de sus recursos, y priorizar los programas y acciones requeridos para restaurar y mejorar las condiciones ambientales de las cuencas que lo necesiten. Por lo tanto, para la obtención del índice de jerarquización se restó el porcentaje de valores negativos al porcentaje de valores positivos, siendo prioridad en conservación aquellas cuencas que presentan una tendencia mayor hacia un valor negativo. Los resultados obtenidos para las 14 cuencas del estado se pueden observar en la tabla 8.2. Los mismos resultados se presentan de forma visual en la figura 8.2.

| Región Hidrológica | Nombre de la cuenca | Superficie en Nuevo León (ha) | Porcentaje de Valores Positivos | Porcentaje de Valores Negativos | Índice de Jerarquización para Cerrar Brechas Ambientales | Prioridad |
|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|-----------|
| Bravo - Conchos | Río Bravo – Matamoros – Reynosa | 100,160 | 48.6 | 51.4 | -2.7 | 4 |
| | Río Bravo – San Juan | 1,967,347 | 58.4 | 41.6 | 16.9 | 12 |
| | Río Bravo – Sosa | 374,743 | 47.6 | 52.4 | -4.8 | 3 |
| | Presa Falcón – R. Salado | 1,328,504 | 49.0 | 51.0 | -2.0 | 5 |
| | Río Bravo – Nuevo Laredo | 159,379 | 43.6 | 56.4 | -12.8 | 1 |
| San Fernando | Río Soto La Marina | 255,413 | 56.3 | 43.8 | 12.5 | 8 |
| | Laguna Madre | 2,975 | 44.1 | 55.9 | -11.8 | 2 |
| | Río San Fernando | 883,887 | 59.7 | 40.3 | 19.4 | 13 |
| Pánuco | Río Tamesí | 46,997 | 52.5 | 47.5 | 5.0 | 6 |
| El Salado | Sierra Madre Oriental | 860,138 | 61.4 | 38.6 | 22.7 | 14 |
| | Matehuala | 60,485 | 58.1 | 41.9 | 16.1 | 10 |
| | Sierra de Rodríguez | 12,341 | 58.1 | 41.9 | 16.1 | 11 |
| | Presa San José – Los Pilaes y otras | 26,210 | 57.1 | 42.9 | 14.3 | 9 |
| | Sierra Madre | 280,327 | 55.3 | 44.7 | 10.5 | 7 |

Tabla 8.2
Resultados obtenidos para el índice de jerarquización para cerrar brechas ambientales.
Fuente: Cantú et al. (2017).

Como se puede apreciar en la tabla 8.2, la cuenca Sierra Madre Oriental muestra el mayor grado de conservación, con un porcentaje de 61.4% de conservación contra un 38.6% de aspectos negativos, seguida de la cuenca Río San Fernando con un 59.7% de conservación contra el 40.3% de aspectos negativos. Así, la Sierra Madre Oriental es la región con mayor conservación por lo que se establece como una zona de importante captación de aguay la conservación de recursos naturales del estado y por lo tanto es aquella que tiene una prioridad menor con respecto a las brechas ambientales.

Por otra parte, hay tres cuencas importantes en cuanto a su extensión que presentan una mayor manifestación de valores negativos respecto a los positivos: la cuenca Río Bravo – Sosa, Laguna Madre y la cuenca Río Bravo – Nuevo Laredo, siendo esta última la que mostró los valores finales negativos de mayor magnitud de las 14 cuencas. Los resultados implican que los esfuerzos de recuperación de las áreas para una mejor conservación de recursos naturales deberían dirigirse prioritariamente a estas tres cuencas.

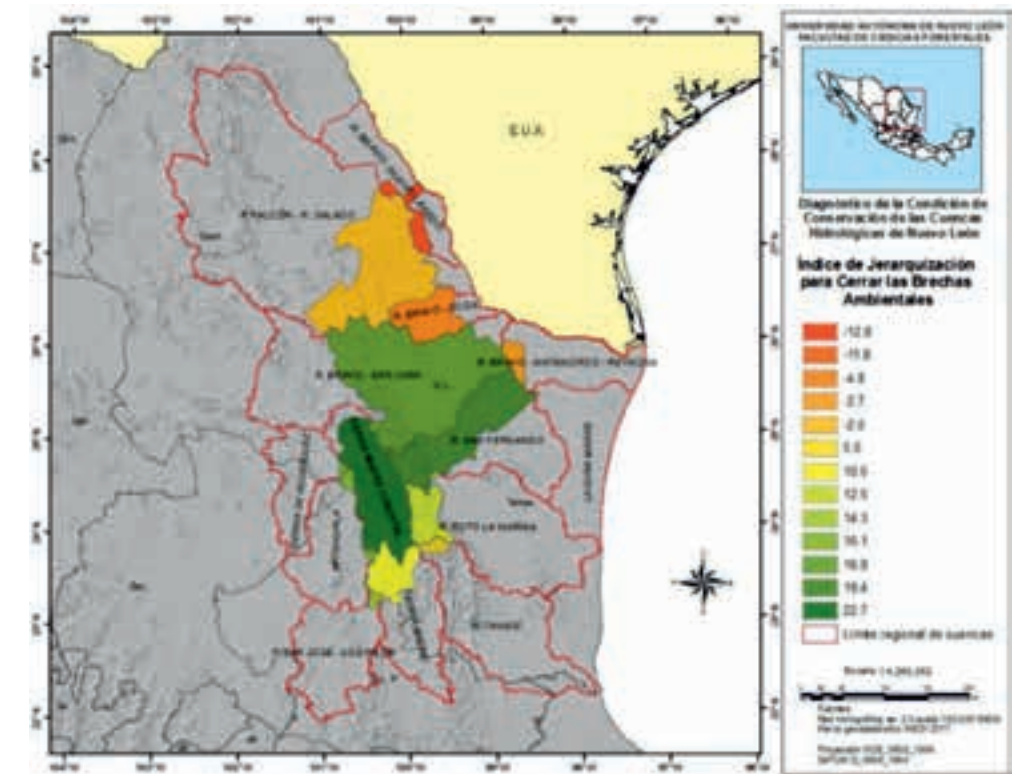


Figura 8.2
Mapa con los valores del Índice de Jerarquización para cerrar las brechas.
Fuente: Cantú et al. (2017).

8.3 PROPUESTAS PARA CERRAR LAS BRECHAS AMBIENTALES

A partir del índice de jerarquización se proponen proyectos que tienen como objetivo reducir los problemas ambientales identificados en las cuencas de Nuevo León. La intención de estas propuestas es rehabilitar los ecosistemas que han sido degradados e impactados negativamente por acciones antropogénicas como la pérdida de la cubierta vegetal, degradación del suelo, presencia de especies invasoras, etc. Las propuestas son generadas por Cantú et al. (2017) y de sesiones de trabajo con especialistas locales. En el mejor de los casos, el costo estimado para llevar a cabo las propuestas podría ascender a 490 millones de pesos, mismo que se desglosa en la tabla 8.3.

| Nombre de Proyecto | Costo estimado anual |
|---|----------------------|
| Recuperar suelos degradados a través de prácticas y obras de restauración. | 100 |
| Incrementar la superficie elegible para el pago por servicios ambientales, incluyendo a la vegetación xerófila. | 156 |
| Vigilar la aplicación del marco legal regulatorio para el cambio de uso de suelo, principalmente, para fines agropecuarios y urbanísticos para frenar la deforestación y la pérdida de suelo. | 4.3 |
| Recuperar ecosistemas degradados a través de reforestación con especies nativas. | 80 |
| Actualizar y desarrollar los planes de manejo de las áreas naturales protegidas. | 6.5 |
| Diagnóstico regional del estado de conservación que guardan las cuencas. | 0.5 |
| Realizar programas de profilaxis forestal para reducir riesgos de incendios y plagas forestales. | 9 |
| Establecer bancos de germoplasma regionales para reforestaciones en áreas silvestres y urbanas. | 12.1 |
| Eliminar y controlar especies de plantas invasoras. | 12 |
| Proveer a las áreas naturales protegidas de los recursos materiales y humanos para su adecuada operación. | 18.8 |
| Impulsar la reconversión de áreas agropecuarias ociosas en áreas forestales con especies regionales. | 75 |
| Incrementar la superficie con plantaciones forestales comerciales. | 9 |
| Eliminar y controlar especies de animales exóticos. | Sin costo estimado |
| Regular de manera estricta el uso y aplicación de pesticidas y fertilizantes, principalmente en zonas agropecuarias. | Sin costo estimado |
| Regular la cacería furtiva y la extracción clandestina de especies vegetales y animales. | Sin costo estimado |
| Incrementar la superficie de áreas naturales protegidas. | Sin costo estimado |
| Regular de manera estricta las descargas (industriales y domésticas) a los cuerpos de agua y sus afluentes. | Sin costo estimado |

Tabla 8.3

Propuestas para cerrar las brechas ambientales en las cuencas de Nuevo León (cifras en millones de pesos).

En relación con el tema de conservación de cuencas y con base en este resumen, es claro que existen grandes áreas de oportunidad. El fortalecimiento de las redes y la infraestructura de medición de variables importantes y la vigilancia en las actividades que potencialmente pueden impactar a las cuencas desde el punto de vista de su conservación son solo dos ejemplos de acciones que permiten atraer la atención de las autoridades y la propia población. Partiendo de la visión de alcanzar y mantener la seguridad hídrica en el estado, y bajo un panorama donde el estrés hídrico, la creciente demanda de agua, el cambio climático son algunos de los complejos retos que enfrenta la ciudad, se requiere de una efectiva gestión integral del agua. Esto establece como una condición necesaria, pero no suficiente, la conservación de cuencas; no bajo una perspectiva filantrópica, sino como parte de una estrategia de seguridad hídrica.

Referencias

- CONAFOR. (2016). Programa Nacional Forestal. En México y sus Bosques (págs. 11-23). Ciudad de México.
- Cantú, C., Uvalle, J., González, F., Guerra, V., Herrera, B. (2017). Diagnóstico de la Condición de Conservación de las Cuencas Hidrológicas de Nuevo León. UANL, Facultad de Ciencias Forestales.
- INEGI. (2013a). Uso de suelo y vegetación. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Matuhuala, México: Continuo Nacional. Escala 1:250 000. Serie V. Clave G14-01.
- INEGI. (2013b). Uso de suelo y vegetación. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Nueva Rosita, México: Continuo Nacional. Escala 1:250 000. Serie V. clave G14-01.
- INEGI. (2013c). Uso de suelo y vegetación. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y. Ciudad Victoria, México: Continuo Nacional. Escala 1:250 000. Serie V. Clave G14-02.
- INEGI. (2013d). Uso de suelo y vegetación. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Nuevo Laredo, México: Continuo Nacional. Escala 1:250 000. Serie V. Clave G14-02.
- INEGI. (2013e). Uso de suelo y vegetación. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Monclova, México: Continuo Nacional. Escala 1:250 000. Serie V. Clave G14-04.
- INEGI. (2013f). Uso de suelo y vegetación. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Reynosa, México: Continuo Nacional. Escala 1:250 000. Serie V. Clave G14-05.
- INEGI. (2013g). Uso de suelo y vegetación. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Monterrey, México: Continuo Nacional. Escala 1:250 000. Serie V. Clave G14-07.
- INEGI. (2013h). Uso de suelo y vegetación. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Ciudad Río Bravo, México: Continuo Nacional. Escala 1:250 000. Serie V. Clave G14-08.
- INEGI. (2013i). Uso de suelo y vegetación. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Concepción del Oro, México: Continuo Nacional. Escala 1:250 000. Serie V. Clave G14-10.
- INEGI. (2013j). Uso de suelo y vegetación. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Linares, México: Continuo Nacional. Escala 1:250000. Serie V. Clave G14-11.



INCREMENTOS EN LA EFICIENCIA OPERATIVA, ADMINISTRATIVA Y COMERCIAL DEL ORGANISMO OPERADOR, FORTALECERÁN LA CAPACIDAD DE EXPANSIÓN DE SU SISTEMA Y DISMINUIRÁN SU DEPENDENCIA DE RECURSOS FEDERALES.

IX. SUMARIO DE RECOMENDACIONES, INVERSIONES Y POSIBLES FUENTES DE FINANCIAMIENTO¹

En este apartado se presentan, en resumen, las recomendaciones por sector, con especial énfasis en las necesarias para el abastecimiento de agua al AMM en un horizonte a 2050.

9.1 ABASTECIMIENTO EN LOS MUNICIPIOS NO METROPOLITANOS

Para este caso, se identifican las acciones listadas en la tabla 9.1. En ella destaca la necesidad de reducir el ANC a niveles del 40% o inferiores, así como incorporar nuevas fuentes de abastecimiento. El enfoque de toma de decisiones robustas (RDM) que se aplicó al AMM, no fue utilizado para el de los municipios no metropolitanos por lo cual se establece una meta de caudal que deberá incorporarse a los sistemas.

Tabla 9.1

Acciones prioritarias para el caso de los municipios no metropolitanos.

| Número | Acción | Responsable | Plazo (año) |
|--------|--|----------------------------|-------------|
| 1 | Establecer programas, metas públicas y acciones para reducir el porcentaje de ANC a 40%. | SADM | 2050 |
| 2 | Incorporar nuevas fuentes de abastecimiento hasta por 1.36 m ³ /s. | SADM y Gobierno del Estado | 2050 |

¹El contenido de esta sección se basa parcialmente en los documentos "Diagnóstico simplificado de la situación actual en el uso del agua en el ámbito agropecuario, en el estado de Nuevo León", "Diagnóstico simplificado de la situación de los servicios de agua potable, alcantarillado sanitario y saneamiento por región en el estado de Nuevo León", "Diagnóstico simplificado de la situación actual en el uso del agua en la industria en el Estado de Nuevo León", "Diagnóstico de la situación actual en el uso de agua en el entorno urbano del AMM y determinación de brechas y acciones a 2050" y "Developing a Robust Water Strategy for Monterrey, Mexico: Diversification and adaptation for coping with climate, economic and technological uncertainties", mismos que fueron desarrollados en el contexto de este Plan Hídrico. La liga a los documentos completos se encuentra en el Anexo A de este documento.

9.2 SECTOR RESIDENCIAL, PÚBLICO E INDUSTRIAL-COMERCIAL EN EL AMM

Como parte fundamental de la seguridad hídrica del Estado es necesario garantizar el acceso al agua para los distintos sectores y usos. En el caso particular del sector residencial, público, comercial e industrial en el AMM, esto se garantiza si se mantiene una confiabilidad del sistema de abasto de SADM en al menos 97%. Este es el objetivo que debe de buscar el operador de agua en todo el periodo hasta 2050.

Para ello en el Plan Hídrico Nuevo León 2050 se plantearon una serie de acciones y programas que se resumen a continuación, por periodo de implementación.

Corto y mediano plazo²

La tabla 9.2 enlista las acciones prioritarias de corto y mediano plazo. Como se puede observar, se requieren una serie de acciones, que van desde la incorporación de nuevas fuentes de agua hasta la optimización de la operación de SADM. La numeración es solo un consecutivo de referencia y no representar prioridad alguna.

| Número | Acción | Responsable | Plazo (año) |
|--------|---|---|-------------|
| 1 | Llevar a cabo el proyecto para recuperar 1 m ³ /s a través de acciones orientadas a la reducción del ANC antes de 2026 | SADM | 2020 |
| 2 | Implementación de un programa formal de conservación de agua, el cual debe de incluir la evaluación robusta de impacto del programa sobre el consumo de agua. | SADM y Gobierno del Estado | 2020 |
| 3 | Optimización en la operación de SADM (en lo que respecta a fuentes de abastecimiento) | SADM | 2026 |
| 4 | Desarrollar una primera etapa en la incorporación de fuentes de abastecimiento, a 2026 mediante la implementación de los proyectos: <ul style="list-style-type: none"> - Presa Libertad - Ballesteros (Buenos Aires) - Pozo en Obispaño - Campo de Pozos El Pajonal - Subálveo Río Conchos - Subálveo La Unión - Subálveo Río Pílon - Chapotal - Túnel San Francisco II - Pozos Contry | SADM, Gobierno del Estado y CONAGUA - Organismo de Cuenca Río Bravo | 2026 |

Tabla 9.2
Acciones prioritarias para el corto y mediano plazo.

La acción 1 correspondiente a la reducción del ANC es un proyecto con un costo de inversión de \$1,800 millones de pesos, pero es importante concretarlo en el corto plazo pues esto brinda un tiempo adecuado para la gestión administrativa de otros proyectos. Las acciones 2 y 3, que representan un paso hacia un uso más eficiente y racional del agua en el AMM representan costos muy pequeños pues se refieren solamente al desarrollo del estudio y la posterior implementación de las recomendaciones que de estos deriven. Inclusive, en conjunto estas dos acciones pueden diferir de forma significativa el portafolio de inversiones que se incluye en la acción 4, y por consiguiente cuantiosas inversiones, por lo que deberían de llevar una alta prioridad.

La incorporación de nuevas fuentes descrita en la acción 4, permite alcanzar el 97% de confiabilidad. En conjunto aportan hasta 5.12 m³/s adicionales, y representan un costo de inversión de \$8,775 millones de pesos. Por supuesto que no todas las obras son necesarias desde el inicio del periodo y podrá hacerse una programación de su incorporación al sistema, como se propone más adelante en esta sección del documento. Este portafolio es la mejor decisión para el corto plazo, bajo las consideraciones descritas y tomando en consideración el futuro incierto. La priorización de las obras y su programación en el tiempo permite ir resolviendo cualquier aspecto técnico, legal o normativo que esté involucrado en cada caso.

Largo plazo

De acuerdo con los análisis de RDM desarrollados, el portafolio robusto en el largo plazo depende de múltiples factores, sin embargo, el costo de inversión y operación de la desalinización se posiciona como uno de los factores críticos. Si dichos costos se reducen en al menos 7% para 2027, se plantea el portafolio de inversión descrito en la tabla 9.3.

Tabla 9.3.
Acciones prioritarias para el periodo 2027 – 2050 bajo un escenario de reducción de costos de desalinización en al menos 7%.

| Número | Acción | Responsable | Plazo (año) |
|--------|--|---|-------------|
| 1 | Proyecto de instalación de una planta desalinizadora en Tamaulipas y su conducción al AMM, con capacidad de 5 m ³ /s. | SADM con la participación del Gobierno del Estado y CONAGUA | 2035 |
| 2 | Proyecto de la inyección inducida de agua residual tratada con capacidad de inyectar 1 m ³ /s a alguno de los acuíferos del Estado. | SADM con la participación del Gobierno del Estado | 2030 |

En caso contrario, es decir, si los costos de operación de la desalinización no se han reducido en al menos 7%, entonces el portafolio robusto consiste en los proyectos relacionados en la tabla 9.4

²Para el caso de las fuentes subterráneas es indispensable comenzar a desarrollar los estudios técnicos de los acuíferos de tal forma que se sustente ante la CONAGUA una mayor explotación de los mismos o la redistribución de las concesiones.

| Número | Acción | Responsable | Plazo (año) |
|--------|--|---|-------------|
| 1 | Proyecto de la inyección inducida de agua residual tratada con capacidad de inyectar 1 m ³ /s a alguno de los acuíferos del Estado. | SADM con la participación del Gobierno del Estado y CONAGUA | 2030 |
| 2 | Incorporar 5 m ³ /s de la presa Vicente Guerrero. | SADM y con la participación del Gobierno del Estado y CONAGUA | 2035 |
| 3 | Segundo acueducto de la presa El Cuchillo, para explotar 5 m ³ /s adicionales. | SADM con la participación del Gobierno del Estado y CONAGUA | 2040 |

Tabla 9.4
Acciones prioritarias para el período 2027 – 2050 bajo condiciones de costos de desalinización actuales, superiores, o inferiores en hasta 6%.

La tabla 9.5 ilustra en forma resumida la forma en que se incorporarían las nuevas fuentes de abastecimiento al sistema de SADM. La prioridad en la ejecución de los proyectos es propuesta y podría variar en función de las negociaciones y los trámites administrativos para la consecución de permisos y financiamiento.

| Prioridad | 2018 - 2026 | Período | | | |
|-----------|--|--|---|--------------------------------|-----------------------------------|
| | | 2027 - 2036 | | 2037 - 2050 | |
| | | Se redujeran los costos de desalinización en al menos 7% | No se redujeran los costos de desalinización en al menos 7% | Se construyó la desalinizadora | No se construyó la desalinizadora |
| 1 | Presa La Libertad Reducción del ANC Pozo en el Obisado | Desalinizadora Matamoros | Inyección inducida | Inyección inducida | Cuchillo II |
| 2 | Subalvino Río Conchos Subalvino Río Piñón-Chapotal Subalvino La Unión Pozos Mty Country | | | | |
| 3 | Pozos Ballesteros Buenos Aires Campo de pozos El Fajonal Túnel San Francisco II | | Presa Vicente Guerrero | | |

Tabla 9.5
Jerarquización de acciones hacia la seguridad hídrica del AMM (2018-2050).

9.3 SECTOR AGROPECUARIO

El sector agropecuario en general, y el sector agrícola en particular, representan una de las mayores áreas de oportunidad para incrementar la eficiencia en el uso del agua. En principio se identifican las acciones relacionadas en la tabla 9.6, misma que deben cumplirse en el corto plazo. Una vez que se logren estos objetivos se podrán plantear acciones derivadas, pero también necesarias como por ejemplo mejorar la selección y rotación de los cultivos, que sigan orientadas al aumento de la eficiencia del uso del agua en el campo.

| Número | Acción | Responsable | Plazo (Año) |
|--------|---|--|-------------|
| 1 | Finalización del proceso de redimensionamiento del DR004 Don Martín. | CONAGUA, SAGARPA y Gobierno del Estado | 2020 |
| 2 | Medición completa y sistemática del uso de agua en la agricultura | CONAGUA y SAGARPA | 2025 |
| 3 | Incrementar la eficiencia en el riego e iniciar un programa de tecnificación del riego en los Distritos de Riego y los Distritos de Desarrollo Rural | CONAGUA, SAGARPA y Gobierno del Estado | 2025 |
| 4 | Actualizar el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), ajustando la disponibilidad de agua en el estado y las estadísticas de asignación de agua por sector. | CONAGUA, SAGARPA | 2022 |

Tabla 9.6
Acciones prioritarias para el sector agropecuario en el corto plazo.

9.4 POSIBLES FUENTES DE FINANCIAMIENTO

SADM, como cualquier organismo operador de agua y saneamiento, debe ser financieramente capaz, de solventar las acciones requeridas para continuar prestando los servicios. Dados los retos que enfrenta (expansión de su infraestructura: nuevas fuentes, líneas de conducción, redes de distribución, etc.) es importante que se revise el esquema tarifario actual.

Otra acción prioritaria de SADM es mejorar su eficiencia de su operación administrativa. En conjunto, estas dos acciones estarán empujando al organismo operador hacia unas finanzas sanas que le permitirá reducir su dependencia del gobierno federal, así como incrementar su flexibilidad.

Asimismo, existen alternativas para apoyarse en la gestión de recursos. Una de las principales fuentes de financiamiento para las acciones que se deben llevar a cabo en el estado en materia de agua, corresponde a los programas federales que maneja la CONAGUA. Estos se describen en el apartado siguiente denominado Programas federales de agua y saneamiento. La información de esta sección fue tomada prácticamente en forma textual y solamente resumida, del portal de la CONAGUA³.

Programas federales de agua y saneamiento

Los programas federales tienen como objetivo contribuir a disminuir la falta de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento que son factores relacionados con la pobreza, a través de fortalecer e incrementar la cobertura de esos servicios. Entre ellos se encuentran:

Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (PROAGUA).

Tiene como propósito apoyar el fortalecimiento e incremento de la cobertura de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento que prestan los organismos operadores, de los municipios, a través de las entidades federativas. Cuenta con los apartados urbano (APAU), rural (APARURAL) y agua limpia (AAL), mismos que se describen brevemente a continuación.

³La información completa puede consultarse en: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programas-federales-de-agua-potable-y-saneamiento>

> El Apartado Urbano (APAUUR) busca apoyar el fortalecimiento e incremento de los sistemas de agua potable y alcantarillado en centros de población mayores o iguales a 2,500 habitantes, mediante acciones de construcción, ampliación, rehabilitación, el apoyo de la sostenibilidad operativa y financiera de los organismos operadores, de los municipios de las entidades federativas.

Este apartado incluye lo que hasta hace unos años se conoció como Programa de Agua Potable y Alcantarillado en Zonas Urbanas (APAZU) mediante el cual se puede tener apoyo en redes de agua potable, plantas potabilizadoras, alcantarillado, saneamiento, mejoramiento de eficiencia comercial, mejoramiento de eficiencia física, rehabilitaciones, estudios y proyectos y drenaje pluvial urbano. Los porcentajes de apoyo federal van desde el 40% al 80% de la inversión total.

> El Apartado Rural (APARURAL) tiene la misma finalidad que el APAUR, sin embargo, está enfocado a localidades menores a 2,500 habitantes. Dentro de este apartado se maneja lo que se conoce también como Programa para la Sostenibilidad de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en comunidades rurales fase IV (PROSSAPYS IV), programa de financiamiento apoyado por el Banco Interamericano de Desarrollo.

Además, dentro de APARURAL se puede solicitar apoyo para estudios de factibilidad técnica y económica y proyectos ejecutivos; construcción, ampliación y rehabilitación de obras de agua potable, alcantarillado y saneamiento; adquisición de tubería, materiales y piezas especiales para sistemas de agua potable entre otros.

El APARURAL maneja porcentajes de apoyo federal que van desde el 10% al 80% de la inversión total.

> El Apartado Agua Limpia (AAL) fomenta y apoya el desarrollo de acciones para ampliar la cobertura de agua de calidad para el uso y consumo humano, para la desinfección y tratamiento de contaminantes específicos

Dentro de este programa se puede apoyar la instalación, reposición y rehabilitación de equipos o dispositivos de desinfección en sistemas y fuentes de abastecimiento; la adquisición de refacciones para equipos de desinfección; la adquisición y suministro de reactivos desinfectantes, incluyendo alternativos al cloro; el muestreo y determinación de cloro residual libre, análisis bacteriológico y de turbiedad, entre otros. Para el AAL los porcentajes de aportación federal van desde el 50% al 100% de la inversión total.

Tratamiento de Aguas Residuales (PROSAN)

Este programa incrementa la capacidad instalada de tratamiento de aguas residuales municipales en las entidades federativas del país, con el propósito de apoyar en la prevención y/o control de la contaminación de los cuerpos de aguas nacionales y apoyar en el cumplimiento de la normatividad aplicable. Dentro de PROSAN se incluye el anteriormente denominado Programa de Tratamiento de Aguas Residuales (PROTAR) y el programa de Agua Limpia. Este último brinda apoyo para plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y de los lodos que generan, así como obras y equipamiento complementario; estaciones y cárcamos de bombeo de aguas residuales que alimenten a la planta de tratamiento municipal y el colector o emisor de llegada a la planta; reúso o intercambio de aguas residuales municipales tratadas; Sitios de disposición de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales; entre otros.

En este caso, el porcentaje de participación federal es de hasta el 60% de la inversión total. Además, dependiendo del reúso de agua residual tratada, se puede acceder a un porcentaje adicional de hasta el 20%.

Bancos de desarrollo

Otra fuente de financiamiento importante la constituyen las bancas de desarrollo. En este sentido se destacan Nacional Financiera Banca de Desarrollo (NAFIN), Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos S.N.C. (BANOBRAS), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco de desarrollo de América del Norte (NADBANK), el propio Banco Mundial (BM) y el Banco de Desarrollo de América Latina, antes Corporación Andina de Fomento (CAF), además de las bancas comerciales. A continuación se presenta un resumen de la información de las organizaciones con un extracto de los apoyos que pueden brindar. Esta sección solo resume información que está disponible en forma pública en los portales de las organizaciones⁴.

BANOBRAS es una institución de banca de desarrollo del gobierno mexicano que depende de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, cuya labor es financiar obras para la creación de servicios públicos. El Programa de Modernización de las Áreas Comerciales de Organismos Operadores de Agua de BANOBRAS busca fortalecer los ingresos propios municipales a través de incrementar la recaudación de los derechos por consumo de agua, mediante la actualización del padrón de contribuyentes y mejoramiento de la eficiencia del área comercial. Los apoyos incluyen el 100% del costo total por la elaboración del Diagnóstico y Plan de Acción, y Proyecto Ejecutivo, así como por la Supervisión y emisión del Dictamen Técnico de Cumplimiento, el reembolso al organismo del 40% del costo total de inversión en la ejecución del proyecto o hasta 10 mdp como máximo. Otros programas importantes de BANOBRAS son el Programa para la Modernización de Organismos Operadores de agua (PROMAGUA) y el Programa de Capacitación.

NAFIN es un banco de desarrollo que pertenece al gobierno mexicano. Se dedica a entregar una gama de servicios financieros y técnicos para el desarrollo de PYMES en el país. El banco también promueve el desarrollo y modernización del sector industrial en la región y estimula el desarrollo de los mercados financieros. En 2011, cambió su estrategia de desarrollo hacia garantizar los créditos de los bancos comerciales en lugar de entregar financiamiento para esos préstamos. Al mismo tiempo, NAFIN participa en el financiamiento de proyectos.

En el caso del BID, desde 2008 AquaFund ha sido el principal mecanismo de financiamiento para las inversiones en las áreas de agua y saneamiento en América Latina y el Caribe. AquaFund ofrece financiamiento no reembolsable para actividades enfocadas en las áreas más urgentes, como el acceso a agua y saneamiento en áreas de baja densidad de población, la seguridad del agua y el cambio climático, la gobernabilidad corporativa del agua y los proveedores de servicios de saneamiento y el alcantarillado urbano y el control de inundaciones.

El CAF por su parte apoya a los gobiernos nacionales, regionales y locales en el diseño, estructuración y financiación de proyectos de construcción, optimización y expansión de infraestructura para el acceso universal al agua potable, mediante programas de asistencia técnica que garanticen el mejoramiento progresivo de las condiciones en la prestación de servicios, especialmente para la población más vulnerable.

⁴<https://www.gob.mx/banobras>
<http://www.nafin.com>
<https://www.iadb.org/es>
<https://www.caf.com/>

Otras fuentes de financiamiento

Por supuesto que, para los otros usos, diferentes al de agua potable, alcantarillado y saneamiento para zonas urbanas y rurales, existen también apoyo de otras instituciones federales. Por ejemplo, para el caso del sector agropecuario se pueden obtener apoyos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Secretaría de Economía (SE), Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), y organismos como la Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA), el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), los Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) entre otros.

Solo por mencionar ejemplo, los programas de SAGARPA en 2017 incluyeron el Programa de Fomento a la Agricultura, el Programa de Fomento Ganadero, el Programa de Fomento a la Productividad Pesquera y Acuícola, el Programa de Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria, el Programa de Productividad y Competitividad Agroalimentaria, el Programa de Apoyos a la Comercialización, el Programa de Apoyo a Pequeños Productores y el Programa de Concurrencia con las Entidades Federativas.



INDICADORES Y SEGUIMIENTO

INDICADORES Y SEGUIMIENTO

Para dar seguimiento a las acciones planteadas en la propuesta de Plan Hídrico Nuevo León 2050 y evaluar los avances, se propone el uso de los indicadores descritos en la tabla 10.1, en la cual se agrupan de acuerdo con su ámbito de aplicación: abastecimiento público urbano, agricultura, riesgos hidrometeorológicos y conservación de cuencas.

Resulta preciso mencionar que no son los únicos temas de interés en el Estado en lo que se refiere al recurso hídrico. Existen otros temas que por su importancia deberán ser analizados también con detalle en las actualizaciones del presente plan. Las consideraciones generales del ejercicio de planeación, así como las áreas de oportunidad se mencionan en el capítulo 11.

Tanto el estado actual o línea base, como las metas en tres plazos (corto, mediano y largo), así como puntos de revisión intermedios por lustro se consignan en la tabla 10.2. En términos de abasto de agua, la meta global es contar un sistema de abastecimiento en el AMM con un 97% de confiabilidad y que satisfaga todas las demandas. Esto se logra mediante la incorporación paulatina de fuentes de abastecimiento y la realización de acciones no estructurales. Precisamente, los porcentajes meta de ANC deben evolucionar a 22% para el AMM y 40% para el resto del estado. En el campo, la eficiente en el riego deberá incrementarse como mínimo en un 20%. La eficiencia física actual en las zonas de riego no se conoce con precisión, pero de acuerdo con las técnicas de riego utilizadas se estima entre 50 y 60%.

Por lo que respecta al Río Santa Catarina, a 2050 deberá ser capaz de conducir la avenida o creciente con un periodo de retorno de 1,000 años sin generar problemas. En el corto y mediano plazo, al menos 5,000,000 de habitantes del AMM deberán verse beneficiados de contar con un sistema de alerta hidrometeorológica, hidrológica e hidráulica antes eventos de potencial inundación. Los 51 municipios del estado deberán estar en el ámbito de influencia de un sistema de pronóstico de sequía y 300,000 ha deberán haber sido intervenidas con algún programa de conservación de agua, suelo o vegetación.

Finalmente, en la tabla 10.3 se presenta la periodicidad propuesta en la revisión sobre el avance de los indicadores. En general la revisión podrá ser en algunos casos bianual y en otros trianual o eventualmente cada cuatro años. Estos son los periodos máximos de revisión, lo cual no impide la eventual revisión anual si los programas aplicados lo requieren o sugieren.

El cumplimiento en el avance y metas de los indicadores propuestos en este documento, sin duda acercarán al estado de Nuevo León y al AMM en particular a un estado de seguridad hídrica.

Tabla 10.1

Indicadores de seguimiento.

| Número | Ámbito de influencia | Indicador | Unidad de medida | Descripción |
|--------|---|---|----------------------------|---|
| 1 | Abastecimiento público urbano | Confiabilidad del sistema de agua potable | Porcentaje | Porcentaje de meses en que satisface al 100% la demanda |
| 2 | Abastecimiento público en municipios metropolitanos | Oferta sostenible en MNM | m ³ /s | Caudal disponible en fuentes de abastecimiento |
| 3 | Abastecimiento público urbano | Agua no contabilizada AMM | Porcentaje | Porcentaje del volumen producido que no es efectivamente consumido por los usuarios registrados finales (en el AMM) |
| 4 | Abastecimiento público en municipios metropolitanos | Agua no contabilizada MNM | Porcentaje | Porcentaje del volumen producido que no es efectivamente consumido por los usuarios registrados finales (en los municipios no metropolitanos) |
| 5 | Agricultura | Eficiencia en el riego | Porcentaje | Porcentaje de agua de riego que es efectivamente aprovechable por las plantas |
| 6 | Riesgos hidrometeorológicos | Capacidad del río Santa Catarina | Periodo de retorno en años | Periodo de retorno correspondiente al evento de máxima capacidad hidráulica del río |
| 7 | Riesgos hidrometeorológicos | Alerta hidrológica en el AMM | Personas protegidas | Integración de un sistema de alerta tanto hidrometeorológica como hidrológica e hidráulica |
| 8 | Riesgos hidrometeorológicos | Sistemas de pronóstico de sequía | Municipios cubiertos | Municipios del estado con sistema de pronóstico contra sequía |
| 9 | Conservación de cuencas | Recuperación de cuencas | hectáreas | Superficie intervenida con fines de recuperación de cubierta vegetal o acciones de conservación |

Tabla 10.2

Línea base y metas de los indicadores de seguimiento.

| Número | Indicador | Unidad de medida | Línea base 2017 | Meta 2020 | Meta 2025 | Meta 2030 | Meta 2035 | Meta 2040 | Meta 2045 | Meta 2050 |
|--------|---|----------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | Confiabilidad en el sistema de agua potable del AMM | Porcentaje | 95 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 |
| 2 | Oferta sostenible en MNM | m ³ /s | 2.58 | 2.58 | 3 | 3 | 3.5 | 3.5 | 3.94 | 3.94 |
| 3 | Agua no contabilizada AMM | Porcentaje | 30 | 28 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 22 |
| 4 | Agua no contabilizada MNM | Porcentaje | 53 | 53 | 50 | 50 | 45 | 45 | 45 | 40 |
| 5 | Eficiencia en el riego | Porcentaje | 50.0* | +0% | +0% | +0% | +10% | +10% | +10% | +10% |
| 6 | Capacidad del río Santa Catarina | Periodo de retorno en años | 20 | 200 | 500 | 500 | 750 | 750 | 750 | 1,000 |
| 7 | Sistemas de alerta hidrológica en el AMM | Personas protegidas | 0 | 3 | 1,000,000 | 1,000,000 | 1,000,000 | 1,000,000 | 1,000,000 | 1,000,000 |
| 8 | Sistemas de pronóstico de sequía | Municipios | 0 | 3 | 13 | 22 | 35 | 40 | 45 | 53 |
| 9 | Recuperación de cuencas | hectáreas | 0 | 0 | 300,000 | 300,000 | 300,000 | 300,000 | 300,000 | 300,000 |

Tabla 10.3

Periodicidad de revisión del avance en los indicadores.

| Número | Indicador | Unidad de medida | Línea base 2017 | Meta 2050 | Periodicidad de revisión |
|--------|---|----------------------------|-----------------|-----------|--------------------------|
| 1 | Confiabilidad en el sistema de agua potable | Porcentaje | 95.0 | 97.0 | Bianual |
| 2 | Oferta sostenible en MNM | m ³ /s | 2.6 | 3.9 | Trianual |
| 3 | Agua no contabilizada AMM | Porcentaje | 30.0 | 22.0 | Bianual |
| 4 | Agua no contabilizada MNM | Porcentaje | 53.0 | 40.0 | Trianual |
| 5 | Eficiencia en el riego | Porcentaje | 50%* | +20.0% | Bianual |
| 6 | Capacidad del río Santa Catarina | Periodo de retorno en años | 20.0 | 1,000 | Bianual |
| 7 | Alerta hidrológica en el AMM | Personas protegidas | 0.0 | 5,000,000 | Trianual |
| 8 | Sistemas de pronóstico de sequía | Municipios | 0.0 | 51.0 | Tetranual |
| 9 | Recuperación de cuencas | Hectáreas | 0.0 | 300,000 | Trianual |

CONSIDERACIONES

Como en cualquier análisis y ejercicio de planeación, existen supuestos y áreas de oportunidad, por lo que es pertinente mencionar, primero por transparencia, y segundo para que en las actualizaciones que se hagan al documento estos se tomen en cuenta y se mejoren. Asimismo, existen algunas consideraciones que si bien no son debilidades del análisis, se deben subrayar. A continuación se presentan dichas áreas de oportunidad y consideraciones por tema.

Agua en la agricultura

En este caso particular, al no existir medición de agua en el sector, los análisis tienen que partir de los títulos de concesiones, representando esto un grave problema de disponibilidad de información que la CONAGUA debe de atender con urgencia. Por ello, al contar únicamente con concesiones, no se puede hablar realmente del agua utilizada en la agricultura, sino de la asignación de agua a la agricultura. Existe una brecha significativa entre concesión y uso. Este tema es fundamental, por la relevancia relativa del sector los volúmenes asignados. Para alcanzar la seguridad hídrica es fundamental que en el estado se lleve a cabo una correcta medición en todos los sectores. A partir de los datos de uso real se podrá profundizar los análisis. Sin embargo, por la opacidad que representa la falta de dicha información, es de suponer que una vez que se lleve a cabo la medición en la agricultura se podrán implementar políticas públicas de alto impacto, como lo sería el ajuste de concesiones y liberación de volúmenes.

Toma de decisiones robustas (abasto de agua para el AMM)

El análisis de RDM para la selección de la estrategia de expansión del sistema de abasto de agua potable de SADM es sensible a las propias alternativas y sus características. Es decir, en la medida en que algunas de las alternativas de abasto dejen de ser opciones viables o cambie su caudal potencial (m³/s) o los costos relativos, los resultados de los análisis podrían modificarse. De igual forma, la aparición de nuevas alternativas de abasto también pueden modificar las conclusiones. De tal forma, parece sensato establecer un mecanismo formal de revisión de los análisis de RDM de forma periódica (cada tres años, por ejemplo). De igual forma, el operador de agua debe darse a la tarea de garantizar que las alternativas identificadas continúen siendo opciones viables en el mediano plazo. Para ello es fundamental que se realicen cuanto antes los análisis a profundidad de los acuíferos que abastecen de agua al AMM, para el caso de las fuentes subterráneas; la construcción del emisor de aguas residuales tratadas hasta la presa Marte R. Gómez, para el caso del segundo acueducto del Cuchillo; entre otros.

Agua subterránea

Una gran limitante de cualquier ejercicio de planeación que se realice en el estado, y de cualquier esfuerzo por hacer una óptima gestión del agua, es la falta de conocimiento, información y monitoreo de los acuíferos. Es fundamental que se realicen los estudios necesarios para conocer con un alto nivel de confiabilidad las condiciones de los acuíferos.

Por lo crítico del tema, y por ser parte fundamental de sus competencias y obligaciones, la CONAGUA debería haber realizado dichos estudios hace muchos años; sin embargo, es también del interés del estado contar con dichos análisis. Su gran impacto dicta la urgencia de llevarlos a cabo de forma inmediata, y no esperar a que la Federación los lleve a cabo.

La información que derive de dichos análisis y datos podría ser tal que sea necesario modificar la condición legal de la cuenca (de veda a libre alumbramiento, y de no disponibilidad a disponibilidad). Asimismo, al contar con datos significativamente más confiables, se deberá actualizar la oferta sostenible de las fuentes de agua subterránea, es decir, la oferta sostenible en caso de que SADM obtenga mayores asignaciones de agua, o haga una redistribución de las asignaciones con las que actualmente cuenta. Además que, en definitiva, el análisis de RDM deberá de actualizarse con la mejor información disponible.

Análisis de demanda

Los métodos econométricos y estadísticos utilizados para analizar la demanda son intensivos en el uso de la información histórica. Se han explotado miles de registros mensuales de consumo de agua, y se han obtenido estimaciones robustas y confiables. Sin embargo, es fundamental que dichos modelos se actualicen de forma periódica (preferentemente cada dos años) con la finalidad de que el operador de agua y el Estado en general, cuenten con estimaciones y pronósticos de demanda actualizadas.

Conservación de cuencas

Una actualización del Plan Hídrico N.L. 2050 deberá incluir un plan detallado de acciones en las cuencas del Estado, así como una planeación de su ejecución a través del tiempo. Además, deberá de abordar específicamente el caso del Parque Nacional Cumbres de Monterrey (PNCM) que es de vital importancia para el AMM, dado que esta zona aporta alrededor del 60% del agua que actualmente se consume, tanto por su aportación al agua superficial como subterránea.

Asimismo, el monitoreo y medición continua y sistemática de variables relevantes para la conservación de las cuencas es uno de los retos que se deben superar en el corto plazo. La falta de dicha información inhibe análisis más profundos y sobre todo, la gestión eficiente y conservación de las cuencas del estado.

Eventos extremos

Los ejercicios de modelación tanto hidrológica como hidráulica son una base importante para establecer las condiciones de riesgo que existen frente a las inundaciones. Sin embargo, se reconoce que para el modelo hidrológico será importante actualizar la información de cobertura vegetal y uso del suelo, así como llevar a cabo el proceso de calibración completa de la cuenca a la luz de la nueva información climatológica e hidrométrica. El análisis de la simultaneidad de eventos en las cuencas también es un tema que abonará a la confiabilidad del modelo. Por lo que respecta al modelo hidráulico del río Santa Catarina el punto más im-

portante es la necesidad de actualizar el estudio topográfica consideran márgenes a ambos lados que efectivamente delimiten el cauce de avenidas del río. Esto para no dar la falsa información de secciones que desbordan para eventos extraordinarios. El levantamiento llevado a cabo por indicaciones de la CONAGUA en 2013 es la base sobre la cual se puede complementar esta información. En este sentido es también importante señalar la conveniencia de llevar a cabo un proceso más profundo de determinación del coeficiente de rugosidad del cauce, en fondo y márgenes. En el estudio utilizado en el desarrollo de este Plan, se tomaron grandes tramos delimitados por vialidades importantes. Es necesario asignar dicho coeficiente en cada sección del modelo (por ejemplo, a cada 50 m). También será conveniente revisar esto con un nuevo proceso de calibración. Sobre todo, ante la eventual modificación de las condiciones del cauce debido a actividades de control de la vegetación y las plantas invasoras.

Con respecto a las sequías, para el cálculo del índice estandarizado de precipitación (SPI), el estado se dividió arbitrariamente en tres regiones: norte, centro y sur. Esta segmentación debe revisarse para hacerla concordar con las condiciones físicas de dichas regiones y sus antecedentes de sequías. Asimismo, es conveniente considerar información climatológica hasta 2017.

Calidad de agua.

En la presente versión del Plan Hídrico Nuevo León 2050 no se abordó el tema de la calidad de agua. La siguiente actualización del documento deberá contar con un capítulo específico dedicado a este tema, tanto en lo relacionado al agua potable, como a los del alcantarillado sanitario, el tratamiento de las aguas residuales y el de la calidad de agua en cuerpos naturales. Todo lo anterior desde la perspectiva del cumplimiento de las normas nacionales.

En ese sentido, sería relevante que de forma independiente se lleven a cabo muestreos de forma periódica, tanto de las fuentes de agua, justo antes de ser incorporadas a la red de distribución de agua, como de las plantas de tratamiento, una vez que son depuradas las aguas residuales. Esa información es fundamental para llevar a cabo análisis sin ningún tipo de sesgo.

Agua no contabilizada

Este indicador es de gran importancia y constituye una importante área de oportunidad para el operador de agua. Aunque se cuenta con una estimación del nivel global del ANC, su desglose es particularmente complicado, dado que son variables difícilmente medibles, y algunos de sus conceptos, como las fugas, se estiman indirectamente, de forma residual.

Existen esfuerzos que SADM ha hecho por contar con estimaciones de los distintos componentes del ANC, sin embargo, las estimaciones son contradictorias. Por ejemplo, la información provista por SADM para el análisis de este indicador en Aguilar et al (2015) reporta un 5.8% de fugas (aunque se clasificó a otro 7.9% bajo el rubro de "otros"), mientras que en el documento "Estudio de Diagnóstico y Planeación Integral de los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Estado de Nuevo León" publicado por SADM en 2012, maneja un porcentaje de fugas del 13.1%. Esta situación genera mucha incertidumbre sobre la validez de los desgloses que ha presentado SADM.

La estimación de las partes que forman el ANC es de gran importancia para la gestión del agua en el Estado. Es indispensable que el operador de agua profundice sus análisis al respecto de forma transparente e incluyente.

Conservación de agua

Las estimaciones potenciales de campañas de cambio de equipos en hogares, escuelas y oficinas son un primer esfuerzo. Las estimaciones son gruesas y no pueden considerarse como robustas. Para llevar a cabo estimaciones más precisas es necesario que el esfuerzo se lleve a cabo por parte del operador de agua. Particularmente, se debe de llevar a cabo un muestreo aleatorio, tanto a hogares como a oficinas y espacios públicos, para medir las condiciones actuales de los equipos, los consumos promedios, etc. Y comparar la información que se genere en dicho ejercicio, con las diferentes tecnologías existentes. La comparación generará un volumen potencial de recuperación con una mayor confiabilidad.

Caudal ambiental

Es importante que en las actualizaciones del Plan Hídrico N.L. 2050 se estime el caudal ambiental, al menos de los ríos más importantes del estado, y en función de ello, buscar el establecimiento de su decreto. Asimismo, se debe revisar la relación de los caudales ambientales con las descargas de SADM. El uso y reúso de agua, así como la operación de los embalses, incluyendo los trasvases a Tamaulipas deberán asegurar que se cumpla consistentemente con los caudales ambientales.

Gobernanza

Es necesario llevar a cabo un análisis detallado de la gobernanza del agua en el Estado siguiendo los criterios y características que se proponen en la literatura especializada. Esto permitirá identificar las áreas críticas y acciones concretas que se deban de llevar a cabo para transitar a una buena gobernanza del agua.

Finalmente, es importante subrayar que, con este documento se da cumplimiento a la solicitud del Gobernador del Estado de desarrollar un plan hídrico estatal, holístico y con visión de largo plazo. Sin embargo este trabajo no se puede constituir propiamente en un documento oficial de planeación. Al contar con todos los elementos para serlo, recomendamos fuertemente a la autoridad estatal, revisar con atención el documento, y en función de la revisión, constituirlo legalmente como instrumento de planeación hídrica en conjunto con la CONAGUA.

Referencias

Aguilar, I., Sisto, N., Ramírez, A. (2015). Agua para Monterrey: Logros, retos y oportunidades para Nuevo León y México. Tecnológico de Monterrey, SADM. Editorial APP.
Planeación y Sistemas de Control S.A. de C.V. (2012). Estudio de Diagnóstico y Planeación Integral de los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Estado de Nuevo León. Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey.

COORDINADORES

Rodrigo Crespo Elizondo (Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey)

Aldo Iván Ramírez Orozco (Tecnológico de Monterrey)

LÍDERES DE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN

Aldo Iván Ramírez Orozco (Centro del Agua del Tecnológico de Monterrey)

Edmundo Molina Pérez (Escuela de Gobierno del Tec de Monterrey)

Carlos David Lugo Contreras (Escuela de Gobierno del Tec de Monterrey)

Víctor Hugo Guerra Cobián (Centro Internacional del Agua – UANL)

César Cantú Ayala (Facultad de Ciencias Forestales – UANL)

David Groves (RAND Corporation)

Steven Popper (RAND Corporation)

COLABORADORES TÉCNICOS:

Lucía Alejandra Herrera Lozano

Sergio Ramírez Almaráz

Francisco Navarro Trejo



FONDO DE AGUA
METROPOLITANO
DE MONTERREY