

Prospectiva y política ambiental: el caso del agua de reuso

Guillermo Gándara¹ y Blanca Flores²

Abstract. Se presenta la aplicación de un ejercicio prospectivo para la propuesta de lineamientos para una política pública que incentive el uso del agua tratada en el Área Metropolitana de Monterrey, México. El proceso prospectivo parte de un entendimiento del contexto donde se diagnostica la situación internacional, nacional y regional respecto al estrés hídrico; se revisan megatendencias en gestión y tratamiento del agua; así como la normativa nacional. A continuación se realiza una visualización estratégica del objeto de estudio mediante un Enfoque Sistémico identificando las variables que lo conforman y priorizándolas por los criterios de motricidad y dependencia mediante un Análisis Estructural. Posteriormente se procede a la generación de los escenarios posibles y probables mediante el Método de Sistemas de Matrices de Impacto Cruzado (SMIC). Para finalmente concluir con la selección de un escenario apuesta sobre el cual, bajo la óptica de un modelo octagonal de sostenibilidad, se diseña una serie de recomendaciones sobre los elementos clave que debe contener una política pública.

Introducción

El agua es un recurso finito y vital para la preservación de la vida y el desarrollo de las ciudades, su conservación es una inminente necesidad. El crecimiento poblacional, la contaminación, los cambios climáticos y su mala gestión, entre otros factores, provocan la escasez de este recurso. Como evidencia más clara se observa un estrés hídrico en algunas regiones del mundo, donde la demanda de agua supera la cantidad disponible del recurso durante un periodo determinado o su uso es restringido por su baja calidad. En la actualidad alrededor de 700 millones de personas (11% de la población mundial) viven con menos de 1000 m³ per cápita por año en 43 países, para el 2025 se estima que el 38% de la población mundial viva en estas condiciones de escases de agua y que incluso para el 2050 aumente al 50% y abarque 149 países. (Asano y Jimenez (2008); Conagua (2008); UNEP (2009))

En algunos países y regiones que actualmente enfrentan el grave problema del estrés hídrico han madurado la práctica del reúso del agua tratada. Este se puede entender como el uso del agua una vez que ya ha sido tratada como una opción para equilibrar la escasez, tal es el caso de Israel y de las Islas Canarias y Baleares en España (UNESCO, 2008). O bien como el reúso para consumo humano y agrícola directo o indirecto. Cuando es directo una vez tratada el agua puede ser utilizada como en el caso de Namibia dónde el agua tratada se conecta directamente a la línea de distribución del agua potable.

¹ Doctor en Economía Ambiental. Tecnológico de Monterrey. guillermo.gandara@itesm.mx

² Maestra en Prospección Estratégica. Tecnológico de Monterrey.

Cuando es indirecto, como en Nuevo México en Estados Unidos dónde el agua se trata, se envía a unas reservas y después de 30 días y de recibir un tratamiento adicional se integra a la línea de agua potable.

En la industria se utiliza directamente siempre y cuando se logren las características propias del proceso en el que será utilizada el agua.

En México, los grandes centros urbanos y las industrias se localizan en regiones donde la disponibilidad de agua es limitada dadas las condiciones geográficas (Roemer, 2000). En el norte del país, región árida y semiárida que concentra dos terceras partes de la población nacional, se recibe sólo el 9% de la precipitación anual (Conagua, 2009). Para afrontar esta situación ha sido necesaria la construcción de grandes infraestructuras para el suministro de agua. Como por ejemplo, la presa El Cuchillo que abastece de agua potable al Área Metropolitana de Monterrey, región en la que se enfoca esta investigación.

El Área Metropolitana de Monterrey (AMM) se localiza en el Estado de Nuevo León al norte de México, está integrada por los siguientes municipios: Apodaca, General Escobedo, Guadalupe, Juárez, Monterrey, San Nicolás de los Garza, San Pedro Garza García, García y Santa Catarina, como característica propia de la región se cuenta con un clima semiárido, con escasa lluvia y un importante crecimiento poblacional. La gestión del servicio de saneamiento en Nuevo León corre a cargo del organismo descentralizado "Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey", dentro de quién recae la responsabilidad del tratamiento de las aguas residuales.

En el AMM se han dirigido esfuerzos para aumentar el agua tratada. Aquí se localiza una de las plantas tratadoras de aguas más grande de México, "Dulces Nombres" con una capacidad de 5.2 m³/s (metros cúbicos por segundo). Así también se ha ampliado la línea de distribución de agua tratada para tener un mayor alcance a los clientes, en su mayoría la industria. Sin embargo, aún con las medidas tomadas respecto a promover el reúso del agua tratada de los cerca de 9.4 m³/s que se tratan en el AMM, quedan 1.5 m³/s disponibles a la venta, cantidad que puede ser destinada para otras actividades además de las industriales, como paisajismo urbano, riego de áreas verdes, agricultura, reúso en los hogares, comercios, municipios, e incluso producción indirecta de agua potable si así se requiriera a través de la inyección de agua residual tratada a los mantos acuíferos, entre otros. Con esto se ejercería una menor presión sobre el uso del recurso permitiendo la disponibilidad de agua en el AMM para las generaciones venideras. (SADM (2008); SADM (2007))

Otro punto importante a considerar son los costos energéticos que se requieren para bombear el agua de otras cuencas y traerlas a las ciudades, por lo que el reúso del agua implica una reducción de volúmenes bombeados y por lo tanto de emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

Con estos antecedentes el trabajo se plantea como objetivo el generar escenarios futuros para el reúso del agua residual tratada en el Área Metropolitana de Monterrey en el 2025, identificando el escenario apuesta con el fin de liberar una mayor cantidad de agua potable para dar abasto a la creciente población en el Estado de Nuevo León, sobre todo en el Área Metropolitana.

Aspectos Técnicos y Normativos del Tratamiento de Aguas Residuales

En la clasificación convencional de tratamiento de aguas residuales, los tratamientos, dependiendo el tipo de sustancias a tratar se clasifican como primarios, secundarios y terciarios. En la mayoría de las plantas tratadoras de México se aplican los tratamientos primarios y secundarios, tal es el caso de Servicios de

Agua y Drenaje de Monterrey en Nuevo León; el tratamiento terciario se aplica para lograr ciertas características especiales en el agua para su futura aplicación, tales como el consumo directo o indirecto humano. (Henry y Heinke (1999); Manahan (2007); Jimenez (2008))

Para el riego de áreas verdes, la agricultura, actividades en la industria y consumo humano, se puede recurrir al agua residual tratada, siempre y cuando reciba el tratamiento adecuado para cada actividad. En ejemplos internacionales como Namibia y Nuevo México se puede observar cómo debido a las condiciones propias de las respectivas regiones y a la escasez de agua en las mismas, se ha recurrido al reúso del agua tratada inclusive para el consumo humano.

El aspecto normativo permite regular y promover el tratamiento de aguas residuales a través de los municipios, estados u organismos que prestan el servicio de agua potable y alcantarillado. En México se cuenta con la Ley de Aguas Nacionales la cual indica las responsabilidades de la gestión del agua, la cual se basa en el artículo 115 de la Constitución en donde se señala que la prestación de estos servicios es responsabilidad de los municipios, sin embargo, estos pueden coordinarse y asociarse para prestarlos de manera conjunta.

Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM) es un ejemplo de cómo se puede llegar al acuerdo de juntar esfuerzos con el fin de incrementar la eficiencia en la prestación del servicio. Este organismo descentralizado sigue las normas establecidas en la Ley de Agua Potable y Saneamiento del Estado de Nuevo León. En esta ley se establece la facultad de SADM para cerrar el servicio de drenaje a los usuarios cuyas descargas de aguas residuales no cumplan con las especificaciones establecidas en las siguientes normas oficiales mexicanas: NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997, y con las especificaciones propias del Estado y del organismo gestor. (SADM, 2008)

Después de esclarecer a cargo de quién yace la responsabilidad de la administración del servicio de tratamiento de aguas residuales en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM); así como de considerar la posibilidad que existe de tratar el agua a tal grado de que su reúso abarque más actividades que sólo los procesos industriales, para lo cual se ha destinado principalmente el agua tratada en el AMM; es importante conocer los asuntos en los que se tiene oportunidad de mejorar en eficiencia y gestión, para ello se revisan algunas tendencias mundiales y casos de éxito a nivel mundial.

Megatendencias en el Tratamiento de las Aguas Residuales

La escasez de agua es un problema que no sólo atañe a países en África o en Asia, es un problema que también afecta a Latinoamérica (OEA, 1997), a México y en específico al Área Metropolitana de Monterrey. Pareciera ser el reúso del agua tratada una medida para contrarrestar este problema. En países con alto estrés hídrico el reúso es una práctica que ya ha madurado, conforme aumenta el estrés, esta práctica se afianza. Las experiencias de estos países deben servir como ejemplo de hasta dónde se puede llegar si no se utiliza adecuadamente el agua y comenzar a tomar medidas respecto a esto.

En algunos países del Medio Oriente y del norte de África el reúso del agua está fuertemente relacionado a la escasez de dicho recurso, tratamiento de aguas residuales, cuestiones económicas, políticas regulatorias y aspectos ambientales. En Túnez, aproximadamente entre el 20% y 30% del efluente tratado es reutilizado, 78% en Kuwait y 85% en Jordania, las principales operaciones de reúso de esta región son la irrigación en la agricultura, riego de paisaje y recarga de mantos acuíferos. Algunos

países de esta región están planeando reutilizar de 50% a 70% del volumen total de sus aguas residuales (Bahri, 2008).

En países desarrollados como Holanda, Reino Unido, Suiza, Alemania y España, entre otros, se trata el agua hasta en un tratamiento terciario, esto se debe a los procedimientos avanzados que han ido surgiendo y que se está volviendo una práctica común (Watergy (2007); Thomson y Thomas (2006); Ruthenberger (2003)). En el caso de México, se captan cantidades considerables de agua por lluvia; sin embargo, debido a la geografía del país esta agua sólo se concentra en una pequeña región. La mayor parte de la concentración poblacional se encuentra en regiones áridas o semiáridas donde el recurso es escaso. Por lo que el reúso del agua residual tratada también pareciera ser parte de una solución en México. En el país el agua residual se utiliza principalmente en la agricultura debido a sus nutrientes, los cuales actúan como fertilizante; sin embargo, por cuestiones higiénicas se recomienda que éstas sean tratadas con un procedimiento primario. Así también, en algunos casos la industria utiliza el agua tratada en sus procesos, un ejemplo a nivel nacional son las industrias en Monterrey.

El Gobierno Nacional muestra interés en apoyar el tratamiento de aguas residuales con el fin de alcanzar la meta establecida para el 2012 (Conagua, 2007) (que el 60% que la aguas residuales del país se traten), como los proyectos de las PTAR "Atotonilco" en Hidalgo y "El Ahogado" y "Agua Prieta" en Jalisco. El apoyo del Gobierno se percibe también a través de las normas y leyes donde fomenta el tratamiento de aguas residuales mediante sanciones al organismo gestor del servicio de agua y drenaje en caso que no se cumpla; y programas de apoyo económico como PROMAGUA a los organismos operadores que deseen mejorar su eficiencia operacional y el aprovechamiento de las aguas residuales, además de facilitar su acceso a tecnología de punta. (CMIC, 2008)

También para el Área Metropolitana de Monterrey el reúso del agua residual tratada pareciera ser una actividad con mucho potencial, debido por un lado a la escasez provocada por las condiciones geográficas y el crecimiento poblacional; y por otro, a los esfuerzos realizados por el organismo Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, donde constantemente se realizan obras para promover el reúso del agua, tal como el anillo de distribución de agua tratada. Sin embargo, falta camino por recorrer, el crecimiento poblacional es inminente y es necesario buscar medidas que vayan más allá de sólo seguir construyendo fuentes de abastecimiento en lugar de utilizar eficientemente los recursos existentes.

El rechazo en el AMM a utilizar agua tratada se observa en las ventas de esta agua que realiza SADM, ya que contando con una anillo de distribución y un costo muy por debajo del agua potable, no se ha logrado vender más del 50% del agua que se trata. Con apoyo de los organismos públicos, privados y no gubernamentales se puede lograr fomentar el uso del agua tratada y como ejemplos de los usos que se le puede dar a esta agua en el AMM se pueden observar las experiencias internacionales.

Es en este punto de la investigación donde converge la información recopilada y mediante el conocimiento de los procesos de tratamiento, el conocimiento de las leyes y normas en México, los casos donde el tratamiento de aguas residuales se está impulsando, las tendencias de gestión y tecnológicas, el diagnóstico tanto de la situación mundial como en México de la escasez de agua y del reúso de agua tratada, y lo que actualmente se está realizando en el Área Metropolitana de Monterrey se pueden identificar los elementos que intervienen y/o condicionan la evolución del reúso del agua tratada en el AMM al 2021.

Análisis Estructural

Este método prospectivo tiene por objetivo, identificar las variables que intervienen en el sistema de estudio con el fin de identificar de entre éstas, las más influyente y dependientes, y con ello las variables esenciales para la evolución futura del sistema objeto de estudio, en este caso, el reúso del agua en el AMM. Se contó con la participación de seis expertos, cada uno de ellos, en base a su experiencia y conocimiento, calificó las relaciones directas entre las variables identificadas. Como siguiente paso, a través del software MICMAC, se identificaron las relaciones directas e indirectas que permitieron definir los eventos, requisito para el planteamiento de escenarios.

Para identificar los elementos que intervienen en este sistema, se diferenciaron por internos y externos. Los elementos internos son los que caracterizan al sistema objeto del estudio, mientras que los externos, constituyen su contexto. Estos elementos fueron resultado del análisis de la información recopilada hasta este punto. En la Figura 1 se muestran las clasificaciones de los elementos tanto internos como externos.



Figura 1. Representación sistémica

En la identificación de los elementos internos, se observó el proceso desde la captación del agua residual hasta los fines que tiene una vez ya tratadas, definiéndose 3 clasificaciones: elementos relacionados con la entrada, con los procesos y con la salida. En el estudio del proceso se identificaron como elementos internos relacionados con la entrada de agua al sistema las siguientes variables: el costo del servicio del drenaje, ya que este permite tener recursos para las actividades de saneamiento; así también, la cobranza debido a que en el Área Metropolitana de Monterrey el pago de drenaje se realiza junto con el de agua potable y aun cuando no se pague a tiempo el servicio no se suspende por completo; y por último la eficiencia en el sistema de recolección de aguas residuales, ya que en caso de haber fugas se produce contaminación durante el traslado del agua y se pierde agua que puede ser tratada y destinada a diferentes usos.

En cuanto a los elementos internos relacionados con el proceso se puede distinguir que el tratamiento de aguas residuales depende de la infraestructura con la que se cuente; así como del modelo

de tratamiento que se utilice, ya sea centralizado o descentralizado. Como exponen Crites y Tchobanoglous (2000), existe la tendencia de descentralizar el tratamiento; otro elemento a considerar es la escala en la que se trata, ya sea en pequeña o grande escala, ya que de esto depende mucho la tecnología que puede ser aplicada y los requerimientos en el capital humano, es decir la profesionalización, para poder administrar y operar las plantas, lo cual todo en conjunto se refleja en el costo del tratamiento. (Interdonato y McCarthy, 2001)

Asignando el precio real al agua potable y logrando obtener costos de tratamiento de aguas residuales bajos, el agua tratada lograr tener la capacidad de competir económicamente contra insumos como el agua potable y de pozo. Esta competitividad combinada con una línea de distribución de agua tratada que tenga una amplia cobertura y sea accesible, podría ser, junto con otros elementos, atractivo para fomentar el reúso del agua tratada tanto en los consumidores actuales de esta agua como en los potenciales. Esto permite identificar los elementos internos que intervienen en la eficiente salida del agua tratada del sistema.

Los elementos externos también se agruparon en 3 clasificaciones: elementos relacionados con el Gobierno, con la sociedad y con el medio ambiente. El Gobierno juega un papel muy importante en el tratamiento y reúso del agua tratada, como se observa en la investigación, en México se cuenta con normas y leyes (normatividad) que regulan el tratamiento y definen las especificaciones que el agua tratada debe tener, así también sancionan a quién no cumpla con los establecido; en el Área Metropolitana de Monterrey las aguas residuales de la industria también están reguladas por SADM, con lo cual se les condiciona el servicio de drenaje en caso de exceder el nivel de contaminantes vertido al desagüe; asimismo se ha visto como se están financiando importantes obras para la construcción de plantas de tratamiento, lo cual denota el compromiso por alcanzar la meta de elevar el porcentaje de aguas tratadas en el país al 2012; sin embargo, ni en México ni el AMM existen estímulos y apoyos para fomentar el tratamiento y reúso de aguas residuales en la sociedad, los beneficiados con estas actividades son sólo las industrias debido a los ahorros que obtienen ya que utilizan grandes volúmenes de agua, en el caso de establecer incentivos fiscales y económicos para la sociedad en general resultaría atractivo aplicar sistemas de tratamientos por hogares o sectores en búsqueda de ahorros a largo plazo. Otro aspecto importante que debe ser considerado y corresponde al Gobierno, es el costo del agua potable, ya que el precio es bajo y no contempla su impacto ambiental, su escasez y la necesidad de conservar este recurso para futuras generaciones lo cual no permite apreciar su verdadero valor.

Si se asignara el valor real al agua potable, la sociedad tomaría conciencia de la problemática del agua (escasez) y haría usos más adecuados de ella fortaleciendo así la cultura del agua; esta cultura se puede consolidar a través de una educación ambiental fomentada con esfuerzos públicos, no gubernamentales y privados; ambos elementos ayudarían a combatir el rechazo arraigado que se tiene a utilizar el agua tratada. Esto permite identificar los elementos externos relacionados con la sociedad.

Al hablar del valor real del agua potable es importante considerar que además del gasto energético que se requiere para extraer y/o transportar, bombear y suministrar el agua, se debe considerar el costo por su valor ambiental y hasta su costo de oportunidad, ya que ante la inminente escasez de agua que se sufrirá en un futuro debido al crecimiento poblacional, la demanda de agua y el cambio climático, entre otras causas, las regiones que cuenten con el aseguramiento de este recurso presentaran una ventaja estratégica. (Plant, 2008)

Los elementos externos relacionados con el consumo del agua muestran la relación entre el crecimiento poblacional, y con ello el aumento de usuarios domésticos, industriales y comerciales que consumen agua potable, y la disminución de la oferta del agua debido a su poca disponibilidad.

Como resultado del análisis estructural y con la aplicación del MICMAC (Matriz de Impactos Cruzados – Multiplicación Aplicada a una Clasificación) se analizaron tanto las relaciones directas como indirectas obteniéndose un grupo de variables relevantes para el futuro del reúso del agua en el Área Metropolitana de Monterrey para el 2021. Así, las variables estratégicas directas más relevantes son:

1. Disponibilidad de Agua
2. Educación Ambiental
3. Infraestructura
4. Modelo de Tratamiento
5. Valor del Agua
6. Tecnología
7. Reúso

Además, en las relaciones indirectas en algunos de los criterios destacan también como “estratégicas” las siguientes variables, las cuales deben recibir atención y ser consideradas para el futuro:

8. Escala de Tratamiento
9. Cultura del Agua
10. Costo del Tratamiento
11. Competitividad del Agua Tratada
12. Consumidores
13. Eficiencia del sistema de recolección y reúso
14. Capital Humano
15. Tratamiento Industrial
16. Cobertura del Agua Tratada
17. Financiamiento

Diseño de escenarios

En base a estas 17 variables estratégicas para el tema de reúso del agua residual tratada, se formularan 6 eventos que propondrán el posible estado de estas variables para el 2025 en el Área Metropolitana de Monterrey. Estos eventos fueron analizados mediante la asignación de sus probabilidades a través del método SMIC. La realización de una hipótesis en un horizonte dado constituye un evento y el conjunto de las hipótesis constituye un marco referencial en el que hay tantos estados posibles como combinaciones de juegos de hipótesis. El método SMIC permite, a partir de informaciones facilitadas por expertos, elegir entre las $2n$ imágenes posibles aquellas que merecen ser estudiadas particularmente, teniendo en cuenta su probabilidad de realización y con esto delimitar los futuros más probables que serán objeto del método de los escenarios. (Godet, 1995)

Se definieron los siguientes eventos con base al estado ideal deseado de cada variable estratégica mediante la agrupación por afinidad de los conceptos:

Evento 1: En el 2025 la sociedad del Área Metropolitana de Monterrey se caracteriza por su arraigada cultura del agua que se refleja en un aumento del reúso del agua tratada. Esto se debe tanto a las medidas para hacer frente al problema de escasez hídrica como a los resultados de los programas de educación ambiental impulsados por los esfuerzos públicos, no gubernamentales y privados. Se observa además una mayor aceptación del agua de reúso en diferentes ámbitos así como una mayor valoración del agua potable.

Evento 2: En el 2025 como resultado de la adopción de un modelo de tratamiento descentralizado, existen varias plantas de tratamiento de pequeña y mediana escala en el Área Metropolitana de Monterrey. Estas plantas se encuentran estratégicamente distribuidas por sectores, lo cual permite el reúso in situ dado el eficiente sistema de recolección y reúso que se ha instalado.

Evento 3: La Infraestructura de plantas de tratamiento y redes de recolección y suministro en el 2025, es eficiente y suficiente para abarcar todo el tejido metropolitano. Esto ha permitido que un número mayor de consumidores tenga acceso al agua reciclada, consumiendo así la totalidad del agua tratada una vez cumplidos los compromisos con la Cuenca de Río Bravo.

Evento 4: La profesionalización del capital humano en las plantas tratadoras y en la comercialización del agua de reúso, aunada a la adopción de nuevas tecnologías para plantas de pequeñas y medianas escalas, han permitido en el 2025 disponer de agua tratada con mayores niveles de calidad. Lo que ha fortalecido tanto la confianza como la lealtad de los consumidores hacia este recurso, con la consecuente mayor aceptación y aumento en su consumo.

Evento 5: En el 2025, tanto los esquemas de financiamiento públicos y privados para la inversión en plantas de tratamiento y redes de recolección y distribución en el Área Metropolitana de Monterrey, como los incentivos fiscales y económicos dirigidos al tratamiento del agua por parte de la sociedad y de las empresas, han facilitado y promovido el aumento del tratamiento del agua y como consecuencia el mayor reúso de este recurso.

Evento 6: En el 2025 el agua tratada es competitiva en precio y calidad con el agua potable. El costo del tratamiento final del agua antes de reúso ha disminuido como consecuencia de una mayor participación de las industrias en el tratamiento de sus aguas antes de verter al drenaje, así como por el acceso a nuevas tecnologías en plantas de pequeña y mediana escala. Por otra parte, el agua potable se ha revalorizado.

El SMIC es un enfoque analítico de las probabilidades de un acontecimiento en un conjunto pronosticado. Estas probabilidades son asignadas en virtud de las opiniones respecto a las relaciones potenciales entre los eventos pronosticados. Se sabe por experiencia que la mayoría de los eventos y evoluciones se relacionan de alguna manera con otros eventos y evoluciones. Un evento único es producto de una compleja historia de sucesos, por ejemplo, la generación del primer reactor atómico, fue posible gracias a diversos eventos científicos, tecnológicos, políticos y económicos. Así también este evento influyó numerosos eventos y evoluciones posteriores. Numerosas ocurrencias aparentemente distintas y sin relación, permiten dar lugar a evoluciones singulares, de este flujo interconectado surgen efectos cada vez mayores que interactúan. La interacción entre los eventos y evoluciones se denomina "impacto cruzado". (Gordon, 2002)

El SMIC-Prob-Expert presenta la realización de ocurrencia de cada evento o hipótesis de forma binaria, donde 1 representa la ocurrencia del evento y 0 la no ocurrencia. En base a simulaciones, se generan escenarios probabilísticos de acuerdo al número de combinaciones posibles. Para esta trabajo sólo se trabaja con los escenarios cuya probabilidad de ocurrencia sume alrededor del 80% de las

probabilidades. En la Tabla 1 se muestran los 4 escenarios que acumulan el 83% de las probabilidades, es decir, los escenarios más probables que sucedan.

Tabla 1 Escenarios con mayor probabilidad de ocurrencia

No.	Escenarios	Probabilidad	Acumulado	Nombre
1	111111	29.1%	29.1%	Equilibrio hídrico
2	000000	21.7%	50.8%	La arrogancia nos cegó
3	100000	17.6%	68.4%	Nos quedamos en buenas intenciones
4	111101	14.7%	83.1%	Voluntad propia para tratar

Se puede observar cómo el escenario más probable “Equilibrio hídrico” es también el más deseable debido a la realización de todos los eventos. La narrativa de este escenario se aprecia en el Anexo 1.

Escenario 1. “Equilibrio hídrico” considera que haya cultura del agua en cuanto a su reúso, se realicen programas ambientales, se acepte el uso del agua tratada por parte de la sociedad y se revalorice el agua; así también que de alguna forma se adopte un modelo de tratamiento descentralizado de pequeña y mediana escala, se cuente con un sistema de recolección de drenaje y distribución de agua potable y tratada junto con una infraestructura eficiente; las industrias traten adecuadamente el agua antes de verter al drenaje; se establezcan incentivos que motiven a la ciudadanía a reutilizar el agua y se profesionalice al personal, se invierta en tecnología y, por lo tanto, se mejore la calidad del efluente con lo que su precio y calidad lo hará competitivo con el agua potable. Todo esto enfocado a incrementar el reúso del agua tratada.

Escenario 2. “La arrogancia nos cegó” considera que ningún evento sucede, es decir, que en el Área Metropolitana de Monterrey se llegó a tomar tan en serio el papel de ejemplo en el uso de agua a nivel nacional, que la arrogancia no permitió ver la inminente necesidad de tomar medidas radicales para asegurar el agua en los años venideros, por lo que al 2025 se presenta un serio problema de escasez como ningún otro en la región.

Escenario 3. “Nos quedamos en buenas intenciones” indica la posible situación que se presentará al 2025 en caso de que sólo se dirijan esfuerzos en fortalecer la cultura del agua, en hacer del conocimiento de la sociedad la importancia y la necesidad de usar agua tratada, en realizar programas de educación ambiental y que, por lo mismo, se tome conciencia del verdadero valor del agua. Esto sin tomar las medidas necesarias en cuanto a la necesidad de adecuar la infraestructura involucrada en el tratamiento de aguas residuales y su distribución, la necesidad de que las industrias traten adecuadamente el agua antes de verter al drenaje; además sin que se establezcan incentivos que motiven a la ciudadanía a reutilizar el agua y sin profesionalizar al personal, ni se invierta en tecnología y, por mismo, no se logre mejorar la calidad del efluente con lo que su precio y su calidad no la hará competitiva con el agua potable.

Escenario 4. “Voluntad propia para tratar” contempla que se lleven a cabo todas las medidas del primer escenario excepto la realización de incentivos que motiven a la ciudadanía a reutilizar el agua, por lo que el logro de las metas de incrementar el reúso de agua tratada se verá principalmente basado en la concientización de la gente y su voluntad propia de realizar inversiones de esta índole. Para el caso del AMM, no es conveniente sólo dejar que por iniciativa propia la población, la industria y los comercios tomen cartas en el asunto, ya que ante problemas de crisis, desempleo, inseguridad y demás situaciones, el uso eficiente del agua llega a pasar a ser una de las últimas prioridades debido a la dificultad de ver los impactos de este vital recurso en el futuro.

Recomendaciones de política ambiental

Para alcanzar el escenario apuesta con el fin de aumentar el reúso del agua tratada en el Área Metropolitana de Monterrey para el 2025 y lograr la participación de los diferentes actores involucrados se recomiendan trece medidas que se interrelacionan entre sí de una manera sistémica y sustentable.

Con base a la experiencia que se han vivido en el AMM (así como los ejemplos de otras ciudades, regiones o países en el mundo), es de suma importancia replantear el sentido que debe llevar la toma de decisiones al momento de hablar de la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento que aseguren la disponibilidad futura de agua para la región. Al entender el desarrollo sostenible como "un desarrollo que satisfaga las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades" (ONU, 2008), se remarca la importancia de no solo ver de dónde se puede traer agua, sino de tomar medidas drásticas que quizá en la actualidad representen una fuerte inversión económica (aun así, no comparada con el costo de traslado de agua entre cuencas) y un importante reto que pareciera difícil de lograr; sin embargo, en el futuro estas medidas permitirán que se cuente con un sistema hídrico sustentable y en equilibrio, es decir, el agua de la región será suficiente para abastecer al AMM sin necesidad de afectar otros ecosistemas.

Las recomendaciones se organizan en base a un modelo de sostenibilidad de ocho dimensiones (Gándara, 2013): socio-cultural, ambiental, económica, científico- tecnológica, principios de la sostenibilidad, política-normativa, participación de actores y educación. El objetivo es fomentar en la sociedad una cultura de reúso del agua tratada para que acepte este recurso como una alternativa viable, con el fin que se despoje de la idea de que el agua residual tratada está sucia y no puede realizar ninguna de sus actividades cotidianas con ella, por esto es importante que la sociedad conozca todos los usos que se le puede dar a este recurso; así también, se propone impulsar una educación ambiental dentro de las escuelas e industrias para dar a conocer cómo funcionan los ambientes naturales, en específico el agua, y como se puede cuidar de ésta de un modo sostenible. En cuanto a los aspectos económicos se recomienda aumentar las tarifas de agua con el fin de asignar el valor ambiental al agua potable y contar con recursos que permitan invertir en científicos y tecnología, además de otorgar incentivos para motivar a la población a ser parte del cambio de cultura del agua.

Así también, el aumento en las sanciones a las empresas que rebasen sus límites de contaminación le permitirá a Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey contar con ingresos económicos para seguir invirtiendo en personal capacitado y tecnología que permita seguir constantemente mejorando su servicio. Los recursos económicos derivados del ajuste de tarifas y del aumento de sanciones permitirá la creación de un grupo de expertos consultores y evaluadores que en base a los

últimos adelantos tecnológicos y de gestión podrá proponer a cualquier actor involucrado (hogares, comercios, industria, gobierno), si así se le fuera requerido, las medidas para las mejores prácticas que permitan el uso eficiente del agua y su reúso.

Estas medidas consisten en una revaloración del agua mediante el ajuste de tarifas de agua potable; en cuanto al sector industrial y comercial, sanciones más severas cuando se exceden los límites máximos de contaminantes, revisión exhaustiva por giro de empresas contaminantes, seguimiento de los muestreos y campaña sobre cultura del drenaje; además, se propone que SADM incentive el reúso del agua y cree un grupo de consultores y evaluadores capaces de proponer a los hogares, industrias, comercios y sector públicos medidas que permitan un mejor uso del recurso hídrico; en lo que respecta a las nuevas construcciones, se propone la obligación de incluir doble red de abastecimiento de agua e incluir red de reúso, así también la instalación de una planta tratadora descentralizada por cada conjunto habitacional construido o edificio en construcción; respecto a la educación ambiental, se sugiere realizar un acuerdo entre SADM e instituciones educativas privadas y públicas, y una campaña de promoción del Reúso del Agua; como medida para involucrar al gobierno en cuanto el reúso del agua, es conveniente crear un convenio con los municipios para que utilicen agua tratada en sus actividades como riego de áreas verdes, paisajismo, limpieza, entre otras; por último, en caso de lograrse la adopción de las medidas propuestas, se podrá contar con un efluente de cierta calidad que después de la aplicación de un tratamiento terciario pudiera utilizarse para la inyección de mantos acuíferos y después de un tiempo, servir de abastecimiento de agua potable para el AMM.

El promover por ley la creación de cierta infraestructura (doble tubería de agua –potable y tratada-, tubería de reúso, planta tratadora por construcción o fraccionamiento) en las nuevas construcciones con el fin de adaptarlas para que en el futuro trate su agua y la utilicen in situ permite sementar las bases de una realidad de la cual en el corto plazo seremos parte, esto hace más fácil esa transición. Las leyes y políticas juegan un papel de suma importancia ya que le dan a SADM como institución fundamentos legales para impulsar el tratamiento de aguas residuales y sancionar a quien no obedezca lo estipulado en las leyes.

Al desarrollar todas las recomendaciones se puede observar cómo se intenta involucrar a todos los actores: sociedad, industria, comercio, institución gestora del agua e incluso al gobierno mediante convenios con SADM para que como actor involucrado también sea partícipe de este cambio cultural que se requiere en el AMM. Con todas estas medidas se estima lograr un efluente de buena calidad, el cual con un procedimiento adicional, podrá incluso ser inyectado en los mantos acuíferos dónde después de permanecer un lapso de 6 meses, podrá ser utilizado para potabilizarse o para actividades que la pudieran requerir. De este modo se desea contar con un sistema de propuestas sustentables que se complementen de tal forma que se asegure su sustentabilidad no sólo en ciertos aspectos sino en todos en conjunto.

Conclusiones Generales

Con las medidas antes mencionadas, las cuales, como ya se mencionó, son integrales y se afectan de manera positiva entre ellas mismas, se podrá alcanzar el equilibrio hídrico que por tantos años se ha deseado mantener en el Área Metropolitana de Monterrey, así también se podrá prescindir del agua del Río Bravo, como actualmente se ha realizado, lo que ha causado un desequilibrio hídrico importante.

La investigación está enfocada en el Área Metropolitana de Monterrey, debido a sus características propias, la réplica de las recomendaciones de este proyecto para el caso de otras regiones requeriría los ajustes correspondientes. Durante el proyecto, debido a la limitante del tiempo, la aplicación de las herramientas prospectivas Análisis Estructural y SMIC no fue realizada de manera participativa debido a la complicación para hacer coincidir las agendas de los expertos.

Es conveniente mencionar que las variables estratégicas, así como los escenarios, fueron resultado de las calificaciones asignadas por los expertos invitados debido a su experiencia y conocimiento, es decir, en caso de agregar un invitado más o prescindir de alguno podrían modificarse los resultados obtenidos, por lo cual también las recomendaciones se deberían reestructurar. Sobre las futuras líneas de investigación, se pudiera considerar la ejecución de las recomendaciones y para ello, la planeación estratégica por seguir para llevarlas a cabo.

Cada una de las recomendaciones representa un reto que vale la pena lograr. Otros temas que son contrastantes, pero de suma importancia, relacionados con esta investigación que pudieran investigarse son el manejo de los lodos producidos por las plantas tratadoras y los efectos que tiene la presa El Cuchillo en la zona de riego 026 que se localiza en Tamaulipas y cómo el tratamiento de aguas residuales podría ayudar a prescindir de agua del Río Bravo y, por ende, evitar este conflicto.

Esta investigación permitió hacer converger dos temas de sumo interés personal, el reúso de las aguas residuales tratadas como medida para preservar este recurso hídrico y la prospectiva. En el camino pude ampliar mis conocimientos sobre el reúso del agua y practicar la aplicación de las herramientas prospectivas, ambos vistos desde un enfoque sistémico.

Bibliografía

Asano, T., y Jimenez, B. (2008). *Water Reuse. An international survey of current practice, issues and needs*. Londres: IWA Publishing.

Bahri, A. (2008). 2. Water reuse in Middle Eastern and North African countries. En T. Asano, & B. Jiménez, *Water Reuse. An International Survey of current practice, issues and needs*. (págs. 34-35). Londres: IWA Publishing.

CMIC, (28 de Mayo de 2008). *Proyecto de la PTAR Atotonilco*. Recuperado el 25 de Marzo de 2009, de Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción: <http://www.cmic.org/mnsectores/agua/PTAR/index.htm>

CMIC, (15 de Julio de 2008). *Proyecto de las PTAR Del Ahogado y Agua Prieta de la Zona Conurbada de Guadalajara*. Recuperado el 24 de Marzo de 2009, de Cámara Mexicana de la Industria de Construcción: http://www.cmic.org/mnsectores/agua/ptar/index_2.htm

CONAGUA, (9 de Marzo de 2009). *Situación de los Recursos Hídricos*. Recuperado el 24 de Marzo de 2009, de Comisión Nacional del Agua: <http://www.cna.gob.mx/Espaniol/TmpContenido.aspx?id=d0f094fa-9d7c-45cf-8c54-a9720af45f82|Situación%20de%20los%20Recursos%20Hidricos|0|0|263|0|0>

CONAGUA, (29 de Octubre de 2008). *Acerca del agua*. Recuperado el 24 de Marzo de 2009, de Comisión Nacional del Agua: <http://www.conagua.gob.mx/Espaniol/TmpContenido.aspx?id=e7820bc7-2da0-4646-a13e-ba8d39bd2493%7cACERCA+DEL+AGUA%7c2%7c0%7c0%7c0%7c0>

CONAGUA, (Septiembre de 2008). *Estadísticas del Agua en México. Edición 2008*. Recuperado el 20 de Abril de 2009, de Comisión Nacional del Agua: http://www.e-mexico.gob.mx/wb2/eMex/eMex_Estadisticas_del_Agua_en_Mexico_Edicion_2008

CONAGUA, (6 de Agosto de 2007). *Programa Nacional Hídrico 2007-2012*. Recuperado el 24 de Marzo de 2009, de <http://www.cofemermir.gob.mx/uploadtests/13771.59.59.1.Programa%20Nacional%20H%C3%ADrico%202007%202012%20060807.doc>.

Crites, R. W., & Tchobanoglous, G. (2000). *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados* (Vol. 1). (M. Camargo, & L. P. Pardo, Trads.) Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw Hill.

Gándara, Guillermo (2013). "El futuro urbano: una propuesta desde la sostenibilidad". Capítulo 4 en Garrido y Gándara (Coord.). *Nuestras ciudades del futuro. ¿Cómo hacer sostenibles los espacios urbanos*. Barcelona: Erasmus Ediciones.

Godet, M. (1995). *De la anticipación a la acción: Manual de prospectiva y estrategia*. Barcelona, España: Alfaomega.

Gordon, T. J. (2002). *Metodología de Investigación de Futuros. Método de Impacto Cruzado*. Buenos Aires, Argentina: Eduardo Raúl Balbi.

Henry, J. G., y Heinke, G. W. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México, D.F.: Pearson Educación.

Interdonato, D., y McCarthy, E. (2001). *Trends: technology and management of municipal wastewater*. Recuperado el 28 de Enero de 2009, de ClearWaters: <http://www.nywea.org/clearwaters/pre02fall/314010.html>

Jimenez, B. (2008). 9. Water reuse in Latin American and the Caribbean. En T. Asano, & B. Jimenez, *Water Reuse. An International Survey of current practice, issues and needs*. (pág. 180). Londres: IWA Publishing.

Manahan, S. E. (2007). *Introducción a la Química Ambiental*. México D.F.: Reverté.

OEA, (1997). *Source Book of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Latin America and the Caribbean*. Recuperado el 4 de Marzo de 2009, de Organization of American States : <http://www.oas.org/usde/publications/unit/oea59e/ch26.htm>

ONU. (19 de Junio de 2008). *Medio ambiente y desarrollo sostenible*. Recuperado el 12 de Mayo de 2009, de Naciones Unidas - Centro de información: http://www.cinu.org.mx/temas/des_sost.htm

Plant, W. T. (2008). *Decentralized Wastewater Treatment System*. Recuperado el 12 de Febrero de 2009, de Water Treatment Plant: <http://www.thewatertreatmentplant.com/decentralized-wastewater-treatment-system.html>

Roemer, A. (2000). *Derecho y Economía. Políticas Públicas del Agua*. . México, D.F.: Miguel Ángel Porrúa.

Rothenberger, D. (15 de Diciembre de 2003). *The Driving Forces for Change in Wastewater Treatment*. Recuperado el 20 de Marzo de 2009, de Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, EAWAG:

http://www.eawag.ch/publications/eawagnews/www_en57/en57e_screen/en57e_rothenberger_s.pdf

SADM, (2008). Introducción al tratamiento de aguas residuales. *Manuel de información básica de tratamientos de agua residual* . Monterrey, Nuevo León.

SADM, (22 de Agosto de 2008). *Manual de organización y de servicios: Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey*. Recuperado el 26 de Marzo de 2009, de Gobierno del Estado de Nuevo León: http://www.nl.gob.mx/pics/pages/organi_descentralizados_base/SADM07.pdf

SADM, (Febrero de 2007). *Fuentes de Abastecimiento*. Recuperado el 26 de Marzo de 2009, de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey: <http://www.sadm.gob.mx/sadm/jsp/seccion.jsp?id=141>

Thomson, B. P., y Thomas, C. P. (5 de Junio de 2006). *Indirect Reuse of Reclaimed Wastewater for Potable Supply: Regulatory Considerations*. Recuperado el 4 de Marzo de 2009, de Universities Council on Water Resources:

[http://www.ucowr.siu.edu/proceedings/2006%20Proceedings/2006%20Conference%20Proceedings/Tuesday%20Sessions%206-10/Session%20\(7\)/7.4.%20Thomson.pdf](http://www.ucowr.siu.edu/proceedings/2006%20Proceedings/2006%20Conference%20Proceedings/Tuesday%20Sessions%206-10/Session%20(7)/7.4.%20Thomson.pdf)

UNEP, (2009). *Increased global water stress*. Recuperado el 24 de Marzo de 2009, de UNEP/GRID-Arendal Maps and Graphics Library.: <http://maps.grida.no/go/graphic/increased-global-water-stress>

UNESCO. (2008). *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*. Recuperado el 24 de Marzo de 2009, de United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization:

http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr3/pdf/WWDR3_Water_in_a_Changing_World.pdf

Watergy, M. (2007). *Tratamientos de Aguas Residuales*. Recuperado el 4 de Marzo de 2009, de Watergy México: <http://www.watergymex.org/tdaresiduales.htm>

Anexo 1.

Descripción del Escenario: Equilibrio hídrico

En el 2021 la sociedad del Área Metropolitana de Monterrey se caracteriza por su arraigada cultura del drenaje lo que ha permitido lograr un mayor control de contaminantes en las descargas al desagüe; así también debido a los convenios realizados con las instituciones educativas públicas y privadas, las industrias y los comercios, se ha logrado establecer una consolidada cultura del reúso del agua lo que se refleja en el aumento del uso del agua tratada y en el aseguramiento de la disponibilidad del vital líquido para los futuros años.

Esto se debe a varias razones, además de realizar campañas sobre las opciones para reciclar el agua y hacer conciencia de los usos que esta agua debe tener, se realizaron ajustes en las tarifas de agua potable considerando no sólo el valor económico sino también el ambiental, lo que ayudó a la valorización del agua y con ello, un uso más consciente de dicho recurso. Además se impulsó el reúso del agua tratada mediante la implementación de dobles tuberías de abastecimiento de agua (potable y tratada) en las nuevas construcciones para tener la infraestructura necesaria para la conexión a la red de agua tratada, red que fue terminada exitosamente gracias al proyecto financiado por el BID hace poco más de 12 años y la inversión realizada por SADM, ésta abarca el AMM y se le da su respectivo mantenimiento periódicamente; del mismo modo se estableció que los fraccionamientos y nuevas construcciones contarán con sistemas de tratamientos que fomentaran el reúso del agua, la cual es usada principalmente en el riego de áreas verdes y descargas de los sanitarios, la que no se utiliza es descargada al drenaje, con esto se ha logrado descentralizar el tratamiento.

Los municipios del AMM han realizado un convenio con SADM en el que se comprometen al uso de agua residual tratada para el riego de sus áreas verdes, limpieza de espacios públicos como parques y calles, y paisajismos (lagos en parques, parque santa lucía, etc.) que corren bajo su responsabilidad.

En cuanto a las sanciones a las industrias y comercios contaminadores se realizaron ajustes que permitieron establecer cuotas que cubrieran el valor real de la limpieza de sus contaminantes; así también, se implementaron acuerdos en los que en caso de que las empresas no cumplieran con requisitos de descargas se les penalizaría con sanciones más severas. Con los ingresos obtenidos por estas sanciones y el ajuste de tarifas del agua potable se contó con recursos necesarios para establecer un grupo de expertos profesionalizados dedicados especialmente a realizar un diagnóstico de las viviendas, industrias y comercios para proporcionarles una propuesta para mejorar su uso del agua implementando medidas para reutilizarla, esto basado en los últimos avances de la tecnología.

SADM incentiva a los usuarios mediante el apoyo para el financiamiento de las propuestas recomendadas por los consultores, así también les disminuye las cuotas por concepto de agua potable. De igual manera los ingresos han permitido contar con los suficientes recursos para mejorar el funcionamiento tanto de las plantas potabilizadoras como las tratadoras, así como las redes de distribución de agua potable y tratada logrando así tener sistemas de abastecimientos eficientes y confiables.

La calidad del efluente de las plantas tratadoras ha mejorado considerablemente como consecuencia de las medidas antes tomadas y de la inversión en tecnología más avanzada, lo cual ha permitido que disminuya su precio y que sea más atractiva para los consumidores por lo que con los años el número de usuarios y su lealtad se ha incrementado considerablemente. El agua residual se ha llevado hasta cierta calidad que incluso se está comenzando a realizar la inyección de los mantos acuíferos, en dónde el agua permanecerá 6 meses y después podrá ser utilizada para potabilizar. Todas estas medidas han permitido que se cubran las necesidades de la población con los recursos hídricos propios del Estado, con lo cual se ha dejado de requerir agua del vecino Estado, Tamaulipas, por lo que se está en pláticas para derogar el compromiso.

El Área Metropolitana de Monterrey se ha logrado situar como un ejemplo en el reúso del agua tratada en América Latina, su caso se estudia para replicar en otras regiones del mundo.