

EL IMPACTO SOCIAL Y ECONÓMICO DE LA DESALACIÓN DE AGUA DE MAR

Felipe CORREA DÍAZ*

SUMARIO: I. *Breve reseña histórica del proceso de desalación.* II. *Desaladoras en México.* III. *Crisis de abastecimiento de agua en el noroeste de México.* IV. *Aspectos sociales y económicos de la desalación.* V. *Conclusiones.* VI. *Bibliografía.*

I. BREVE RESEÑA HISTÓRICA DEL PROCESO DE DESALACIÓN

- En 1950 Reid concibe el principio de desalación por ósmosis inversa y prueba las primeras membranas.¹
- Entre 1959-1960 Loeb y Sourirajan (L-S) introducen las membranas anisotropicas de acetato de celulosa.²
- En 1960 había cinco plantas desaladoras que producían unos 58 lps.
- En 1962 la capacidad mundial de desalación por destilación era de unos 876 lps.³
- Actualmente unas 13,600 plantas producen unos 300m³seg (26 Mm³día), agua para consumo de unas 87,000 personas.
- 174 m³seg (15 Mm³día) desaladoras de agua de mar.

* Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California.

¹ Loeb, S., "Reverse Osmosis: Introduction, in Membrane Processes", *Encyclopedia of Desalination and Water Resources*, Oxford, Eolss Publishers, <http://www.desware.net>.

² *Idem*.

³ Barnett F., Dodge, *Review of Distillation Processes for the Recovery of Fresh Water from Saline Waters*, Saline Water Conversion II, American Chemical Society, 1963.

II. DESALADORAS EN MÉXICO

En 1970 se puso en operación en la planta termoeléctrica Benito Juárez de Rosarito, Baja California, la primer planta desaladora de México y una de las mas grandes del mundo en su época, con una capacidad de producción de 320 lps (28 350 m³ día).⁴

En la década de los setenta, el bajo costo del petróleo impulso la instalación de desaladoras por destilación, pero las siguientes crisis hicieron muy cara la producción de agua por este proceso.

En el periodo que va de 1970 a 2000 se instalaron pequeñas plantas desaladoras en complejos turísticos y para purificación de agua de red municipal para producción de agua embotellada.

En 2000 el Proyecto Desaladora para Hermosillo, Sonora, de 2.5 m³ seg se detiene después de su evaluación-aprobación técnica y financiera y quedó en “estado latente”.

En 2003 la desaladora de 11.76 lps (1000 m³ día) Maquilas Tetakawi en Guaymas-Empalme, con una producción para uso industrial a un costo entre 0.6 y 0.8 US\$ l m⁻³; en este mismo año se inició el Proyecto de Desaladora de 200 lps en Cabo San Lucas, Baja California. Su construcción continúa en proceso.

En 2004 inició la Evaluación de Alternativas desaladoras en Ensenada y en Tijuana Baja California.

Mientras que en 2005 se dio la Evaluación de Alternativas desaladoras en Guaymas-Empalme y en Puerto Peñasco.

III. CRISIS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL NOROESTE DE MÉXICO

En la zona noroeste de México (figura 1) se estima un caudal aproximado de 6884 Mm³ por año para una población de unos 3,682,000, lo que representa una disponibilidad promedio de 1870 m³/hab/año indicando que hay escasez de agua.⁵ Las principales cuencas son el Delta del Río Colorado con un total de 2950 Mm³; el acuífero de Hermosillo, 450 Mm³,

⁴ *Water Desalination Report*, vol. VI, núm. 11, 12 de marzo de 1970.

⁵ Menos de 2000 m³/hab/año, de acuerdo a la FAO, se considera como un indicador de escasez de agua. <http://www.fao.org>.

y el acuífero de La Paz con 125 Mm³.⁶ Así se observa en el ámbito espacial y temporal una distribución inequitativa del agua, con ciudades muy susceptibles a sufrir crisis por la reducción de la cantidad y la calidad del agua disponible.

En esta región se encuentran quince de los dieciocho acuíferos del país con problemas de intrusión salina. Resaltan Caborca, Guaymas y Costa de Hermosillo en Sonora; San Quintín y Maneadero en Baja California, y Santo Domingo y La Paz en Baja California Sur.⁷ Estas localidades presentan en común las siguientes características:

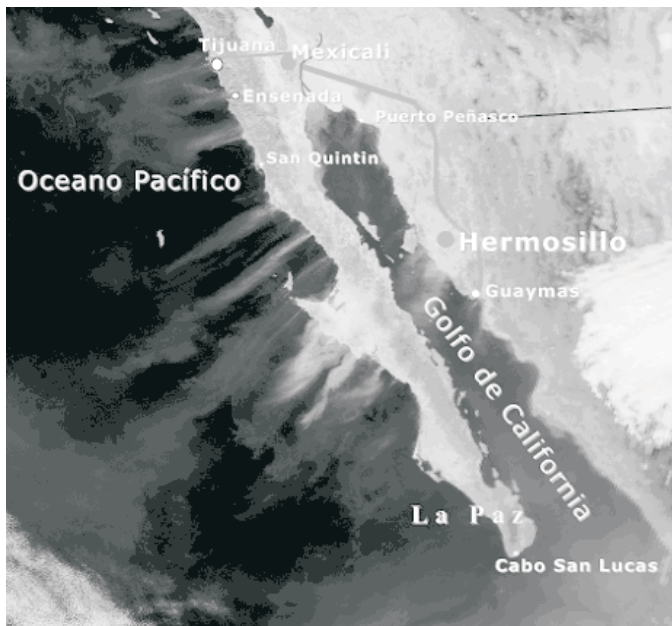
- Escasez natural de agua.
- Incremento de la demanda de agua debido al crecimiento demográfico, con motivo de inversiones en materia de industria, comercio y turismo.
- Reducción de la cantidad y calidad del agua disponible, debido a la sobreexplotación de fuentes locales de abastecimiento.
- Dependencia de fuentes distantes de abastecimiento.
- Crisis y daños recurrentes en ciclos de diez años, aproximadamente, por inundaciones y sequías.
- Prolongado ciclo anual de estiaje y largos periodos de sequías.

En estas localidades la desalación de agua de mar surge como una alternativa para la obtención de agua potable, lo que favorecería la consolidación del desarrollo socioeconómico, la conservación de los recursos hídricos naturales y además reduciría los conflictos por la competencia entre los concesionarios del agua para uso agrícola y urbano.

⁶ Comisión Nacional del Agua, 2003.

⁷ Comisión Nacional del Agua, 1999.

Figura 1
Región Noroeste de México



1. *El proyecto de la desaladora de Hermosillo*

Hermosillo es la capital del estado de Sonora, su situación es muy especial porque en esta ciudad se dio un intento muy importante, desarrollado por el gobierno del estado de Sonora (del PRI), para incrementar las fuentes de agua dulce en la región, donde se sometió a evaluación un proyecto de una desaladora capaz de producir agua potable, en etapas, desde 1.5 metros cúbicos por segundo (m^3ps), 2.0 m^3ps y 2.5 m^3ps que corresponden a 129 600, 172 800 y 216 000 $m^3día$.

En abril de 2001 el consorcio formado por Unión FENOSA, Cobra Construcciones e IDE Technologies, fue el único grupo que presentó propuesta, obteniendo un contrato de veinte años, tipo BOOT, de parte de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del estado de Sonora (Coapaes) para la construcción de una planta desaladora por ósmosis inversa y un acueducto de 130 km para abastecer de agua desalada a la ciu-

dad de Hermosillo, desde la costa del Golfo de California.⁸ El contrato especificaba un periodo de 570 días de construcción con un costo total de \$250M (dólares de Estados Unidos de América), pero al final de 2001 el gobierno de Sonora detuvo el proyecto a pesar de su importancia, el tiempo y el dinero invertido durante cinco años. La suspensión fue debida, al parecer, a problemas políticos entre el gobierno del estado de Sonora del PRI y el gobierno local del municipio de Hermosillo, del PAN.⁹ En 2001 el gobierno del estado transfirió la administración del organismo operador del agua al municipio mientras que las condiciones de sequía aún afectan a esta región, las presas siguen vacías y la necesidad de una desaladora aún sigue latente.

En ese tiempo, 2001, el presidente municipal de Hermosillo, Francisco Burques, del PAN, declaró que existe agua suficiente para abastecer a la ciudad, “hay agua pa’ donde voltiemos” y que podría asegurar el abasto al menos durante diecisiete años.¹⁰ Sólo unos años después, a principios del 2005, a la presidenta municipal de Hermosillo, también del PAN, María Dolores del Río Sánchez (2003-2006), ante la falta del recurso y las irregularidades y problemas en su abasto, le tocó aplicar una dolorosa medida conocida como el “tandeo” que consistió en dotar de agua potable sólo durante cuatro horas al día a la mayor parte de las colonias de la ciudad, con las molestias e inconformidades que la medida causó y hasta la fecha se aplica, resultando la pérdida de la alcaldía de Hermosillo al Partido Acción Nacional y su recuperación por parte del PRI.

Según la CNA, en el acuífero de la costa de Hermosillo se extraen cada año 430.96 Mm³, mientras la recarga anual es de 250 Mm³, lo que arroja un déficit de 180.96 Mm³. La dependencia federal estableció las anteriores cifras luego de una investigación que llevó a cabo en el lugar durante 2001.

Autoridades municipales confirmaron que el factor agua ha sido determinante para desanimar nuevas inversiones en la capital, a pesar de que se cuenta con el recurso suficiente para garantizar el buen funcionamiento del sector industrial. Conviene destacar la problemática que se presenta para el

⁸ *Water Desalination Report*, vol. 37, núm. 47, 29 de noviembre de 2001.

⁹ *Idem*; Diario *El Imparcial de Sonora*, Sonora, mayo de 2001.

¹⁰ “Nosotros creemos que muy pronto vamos a tener el aval y el acuerdo para que se lleve y se implemente el proyecto que es sumamente económico, el que proponer el ayuntamiento, y que no es para un corto plazo, es para 17 años”, Francisco Búrquez, Alcalde de Hermosillo”, *El Imparcial de Sonora*, Sonora, mayo de 2001.

abastecimiento a la ciudad de Hermosillo, la cual padece déficit en sus volúmenes de abastecimiento, para resolverlos tendrá que decidir en el corto plazo, si maneja la demanda combinada con un uso eficiente, adquiere derechos de riego o instala plantas desaladoras. Actualmente la opción que aplica es inhabilitar parcelas de cultivo y compra de derechos de riego.

En esta ciudad el riesgo de crisis se incrementó debido a la sequía prolongada que sufrió toda la región, desde la mitad de la década de los noventa. La falta de agua se sintió principalmente en la agricultura, donde la superficie sembrada y la producción disminuyeron sustancialmente, se redujo la calidad del agua y se incrementaron los problemas de intrusión salina en los acuíferos cercanos a la costa, además, se dieron los primeros conflictos de intereses por el uso del agua, entre los agricultores que tienen sus pozos en zonas cercanas a las ciudades y los organismos, urbanos, operadores de agua. En el verano de 2005 esta situación causó crisis en la mayoría de los habitantes de Hermosillo, sufrieron por la escasez de agua y el abastecimiento racionado durante sólo cuatro horas al día, además, diversos factores como temperaturas de 40 a 45° centígrados en el verano y la falta de previsión de sus habitantes que no cuentan con depósitos de almacenaje de agua en sus viviendas, incrementó la crisis. A dos años de esa declaración la realidad es otra.

El principal reto a vencer para la instalación de una planta desaladora para abastecer a esta ciudad y su corredor urbano desde la costa de Hermosillo y Bahía Kino es la coordinación de esfuerzos entre los diferentes niveles de gobierno involucrados en mantener y asegurar el abasto de agua en esta ciudad para aprobar la estrategia que resulte de una evaluación objetiva del escenario de la zona y no se utilice el problema para fijar o negar soluciones basados en antagonismos políticos. El organismo operador debe también, como en el caso de Guaymas, mejorar su eficiencia de distribución y de recaudación además de incrementar la capacidad de tratamiento y re-uso de aguas residuales.

IV. ASPECTOS SOCIALES Y ECONÓMICOS DE LA DESALACIÓN

1. *Crecimiento de la actividad económica*

Desde tiempos del Imperio romano, el Estado se ha encargado de construir y subsidiar obras monumentales para abastecer de agua a las re-

giones con potencial de desarrollo para impulsar el crecimiento de las actividades económicas y recaudar más impuestos.¹¹ En la región el modelo es el mismo, el Estado subsidia el abasto de agua, la diferencia es que ahora se ha comprobado que el agua dulce es un recurso limitado, la demanda ha agotado las fuentes locales, las distancias y los costos se han incrementado notablemente, la presión económica y social de las ciudades demanda la transferencia masiva de caudales de agua de una cuenca donante a una zona densamente poblada con el riesgo de generar escasez del recurso en el área de origen.

El crecimiento poblacional de las principales ciudades de la región es de, aproximadamente, 4%, lo cual duplica la media de crecimiento del país. En el estado actual, con la demanda en incremento y la disponibilidad de agua tan variable, la desalación puede aportar los caudales extras que ya se demandan y que las fuentes tradicionales no tienen disponible o que su extracción implica el deterioro de la cantidad y calidad de este recurso en un futuro inmediato, este tipo de efectos ya se han observado en varias zonas de los tres estados de la región, en forma de intrusión salina en acuíferos costeros. Al representar la desalación una fuente alterna de agua, los factores ambientales relacionados al crecimiento son mínimos debido a que el principal efecto es el de no limitar el crecimiento debido a la escasez de un recurso.

El contar con un caudal seguro de agua permite que la actividad en la zona donde se instale, no decaiga y se mantenga un nivel de desarrollo constante y sostenido tomando en cuenta la capacidad de los recursos naturales de la zona y los datos históricos de producción y disponibilidad de agua. La cantidad de agua que se aporte por desalación no debe ser tal que impulse un crecimiento desmedido, que genere un crecimiento no sostenible y que además genere una presión a los recursos costeros. El crecimiento desmedido genera sobreexplotación y ésta incrementa los costos del recurso y disminuye su calidad.

En la mayor parte de la región la ausencia de agua ha limitado el crecimiento y esto ha permitido preservar los ecosistemas costeros y oceánicos. El impacto al ambiente, relacionado con el crecimiento, puede ser muy grande con la introducción de nuevos caudales de agua en zonas donde antes no existía o era muy limitada si se produce un crecimiento

¹¹ Pique, G., "Low Power Hill Makes Seawater Desalination Affordable", *The International Desalination & Water Reuse*, vol. 15, núm. 3, 2005.

de la población hasta niveles no sostenibles que pueden crear una gran presión a los recursos naturales. Se debe de estudiar muy detenidamente la instalación de plantas desaladoras en nuevos desarrollos y asegurar que se pueda proveer la infraestructura necesaria sin detrimento de la calidad ambiental de la zona.

2. Costo de la desalación

El costo del agua desalada es uno de los factores más importantes al momento de considerar la instalación de una planta desaladora. Hace unos diez años el costo del agua desalada era mayor que el del agua que se provee de fuentes naturales, pero es importante destacar que mientras que los costos de la desalación tienden a disminuir debido a los avances en la tecnología, los costos del agua de fuentes convencionales tienden a incrementarse por la distancia de transferencia de caudales y por la profundidad de perforación de pozos que aumentan conforme se incrementa la demanda, también la sobreexplotación reduce la calidad del agua y necesita mayor inversión para ser acondicionada antes de inyectarla a las redes de distribución. El agua desalada ya no es tan cara como se piensa, se estiman costos de producción de 0.60 a 1.2 dólares por metro cúbico, mientras que, por ejemplo, en ciudades europeas relacionadas con mucha humedad y clima lluvioso, como Londres y París, el costo del agua potable es de 1.49 y 1.31 dólares respectivamente.¹² El ciclo del agua en el estado de Baja California (México) es similar al del sur de California, en esta región hace diez años el costo del agua desalada era 3000% más alta que el agua de fuentes naturales, en octubre de 2003 la diferencia entre el agua desalada y de fuentes naturales es de un 50%.¹³ En 1993, los organismos operadores en el sur de California pagaban el millar de metros cúbicos de agua a 21.91 dólares, mientras que a finales de 2003 su costo promedio es de 427. El costo del m³ al consumidor de agua potable en San Diego es de 1.37 dólares, mientras que el costo del agua en la ciudad de Ensenada, Baja California, es de unos 0.77 dólares por m³.

De los factores que determinan el costo de la desalación, el consumo de energía es el más importante y hacia él convergen otros factores pri-

¹² Global Water Intelligence, 2004, contenido en Pique, G., *op. cit.*, nota anterior.

¹³ California Coastal Commission, *Seawater Desalination and the California Coastal Act*. 2003, California, CCC, 2003, <http://www.coastal.ca.gov/energy/14a-3-2004-desalination.pdf>

marios como la disponibilidad de un caudal seguro de agua de mar, libre de partículas en suspensión, la tecnología de desalación, la escala de producción y en combinación con estos la frecuencia de mantenimiento y la infraestructura. El proceso de ósmosis inversa es en términos de consumo de energía el más eficiente y por lo mismo este proceso provee agua a un costo menor en comparación a los procesos de desalación por destilación (figura 2). La energía que se requiere para producir 1 metro cúbico de agua desalada tiende a disminuir de 4.2 hasta 2 Kwh.m⁻³, mientras que la energía para transportar agua en acueductos y pozos profundos se tiende a incrementar, por ejemplo, la conducción de agua por el acueducto de Mexicali a Tijuana consume 4.2 Kwh.m⁻³, mientras que la elevación de agua de pozos a 400 metros consume unos 3.2 Kwh.m⁻³.

Los costos históricos de la desalación con las tecnologías disponibles en el mercado hasta 1988 se tomaron de una evaluación de costos, a precios de 1985, encargado por el Congreso de los Estados Unidos de América.¹⁴ El perfil de costos de 1988 hasta 2004 se calculó sobre la base de la energía que consume cada tipo de proceso de desalación por destilación y los precios del petróleo como fuente primaria de energía para producir electricidad y calor, se consideró el precio anual promedio del barril de petróleo (WTI) y el procedimiento publicado en *Desalination*¹⁵ y en *La desalación como alternativa al PHN*.¹⁶ El perfil de costos de la desalación por ósmosis inversa se extrapolaron con referencia a las tendencias generadas y publicadas en reportes sobre costos de desalación.¹⁷ Los costos de producción de agua por tecnologías de destilación reflejan las variaciones del mercado del petróleo, en este caso hay que considerar que de 2004 a 2006 el precio del petróleo se ha incrementado de 40 a 65 dó-

¹⁴ Buros, O. K., *The Desalting ABC's*. for International Desalination Association, 1990.

¹⁵ Afgan, N. H. *et al.*, "Sustainability Assessment of Desalination Plants for Water Production", *Desalination*, núm. 124, 1999, pp. 19-32.

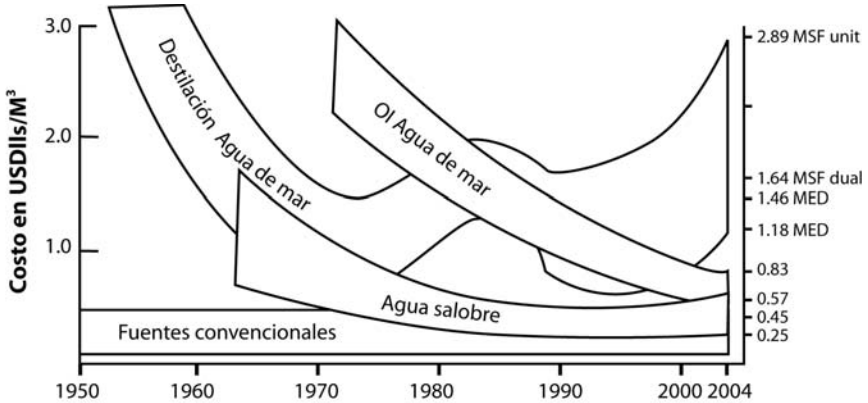
¹⁶ Valero, A. *et al.*, *La desalación como alternativa al PHN*, España, presidencia del gobierno de Aragón, 2001.

¹⁷ IDA, International Desalination Association, 1998; Valero, A. *et al.*, *op. cit.*, nota anterior; *Water Desalination Report*, *cit.*, nota 8; Diario *El Imparcial*, *cit.*, nota 9; Afgan, N. H. *et al.*, *op. cit.*, nota 15; Buros, O. K., *The Desalting ABC's for International Desalination Association*, 2000; HOH, "Model SeaRO-84ERS 1000 m³/day", *Desalination*, 2002; California Coastal Commission, *Seawater Desalination and the California Coastal Act*. 2003, California, CCC, 2003, <http://www.coastal.ca.gov/energy/14a-3-2004-desalination.pdf>; Water Desalination Report, vol. 40, 1o. de enero de 2004.

lares el barril.¹⁸ Los costos de desalación por ósmosis inversa no son tan dependientes de las variaciones del precio del petróleo, y su costo tiende a reducirse debido a los avances tecnológicos en materia de dispositivos que reducen el consumo de energía y de membranas que operan eficientemente a presiones menores.

En contraste, 80% del agua que se produce en el mundo por desalación de agua de mar, 14.4 M m³/día (166 m³ps),¹⁹ proviene de plantas desaladoras por destilación localizadas en los países árabes, las cuales se instalaron en estos países a principios de la década de los setenta y se han actualizado y mantenido en operación porque en estos países el costo del petróleo es muy inferior al valor del agua.

Figura 2
Comparativo de los costos históricos de la desalación



Los costos que se aprecian en la figura 2 incluyen los costos de inversión y amortización de las instalaciones y sus costos de operación y mantenimiento, los costos de inversión de plantas desaladoras por destilación oscilan entre los 800 a 2100 dólares por metro cúbico de agua desalada (\$/m³),

¹⁸ www.economagic.com

¹⁹ Wangnick, Klaus, *IDA Worldwide Desalting Plants Inventory Report No. 15*, Wangnick Consulting for International Desalination Association, 1998.

mientras que los costos de inversión de una planta desaladora por ósmosis inversa varía entre los 600 a 1280 \$/m³, y el costo de inversión de una desaladora de agua salobre es de unos 300 \$/m³.²⁰

En el noroeste de México la Comisión Nacional del Agua fijó una tarifa de 292 pesos (26.5 dólares) por millar de m³, el precio que paga el usuario final por el agua depende de los gastos de energía, infraestructura y eficiencia administrativa del organismo operador que se encargue de proveer el servicio. En Sonora y Baja California Sur el costo que pagan los usuarios finales, por el agua, es mucho menor al valor real de este recurso. En Baja California la recuperación es mayor, por ejemplo, en la ciudad de Ensenada, para una familia con un consumo promedio de 33 a 49 metros cúbicos al mes, el costo de agua es de 8.4 a 12.20 pesos por m³, respectivamente (0.76 a 1.1 dólares), estos precios nos indican que el costo del agua de fuentes naturales es superior al costo del agua desalada según las estimaciones de la CCC 2003 que publica un precio de producción entre 0.57 y 0.83 USDlls/m³, para la zona del sur de California. En la región la desalación es una alternativa que se contempla y desde octubre de 2003 se evalúa la instalación de una planta desaladora en la ciudad de Ensenada con una capacidad inicial de 100 lps para proveer los caudales alternos que se demandan en época de verano y que las fuentes naturales no pueden proveer por insuficiencia. El costo de producción de agua desalada en la ciudad de Ensenada en una planta de 100 lps de capacidad (8640 m³día⁻¹) se estimó en 0.74 USDlls-m³ y para una planta desaladora de 20 lps para la ciudad de Guaymas se estimó el costo de producción en 0.62 USDlls-m³.

3. Población

Cada año se incrementa la cantidad de habitantes en el mundo que reciben, en sus casas o industria, agua desalada, con los mas de 14.4 Mm³/día de agua potable que se producen a escala mundial, por desalación de agua de mar, se puede satisfacer la demanda de 57 millones de personas (250 lts. por persona), casi un 1% de la población mundial, esto se da principalmente en los países de la península arábiga y en países desa-

²⁰ Afgan, N. H. *et al.*, *op. cit.*, nota 15; Valero, A. *et al.*, *op. cit.*, nota 16; HOH, *op. cit.*, nota 17.

rollados. La desalación de agua salobre o de mar es un proceso muy extendido y que se aplica en 120 países en el mundo.

Tanto en esta región como en el mundo, la población es el principal factor de presión sobre las fuentes naturales de agua, por su parte, el gobierno tiene la obligación de administrar este recurso y aportar a la población los servicios que impulsen su desarrollo social, cultural y económico. La desalación se ha considerado como una opción viable por los gobiernos locales, con el fin de aportar los caudales de agua alternos, que las fuentes naturales no pueden satisfacer.

La producción de agua mediante un proceso industrial como la desalación de agua de mar, convierte un recurso considerado como un bien público en un producto comercial con un valor que debe reponer la inversión y generar utilidades a los inversionistas que emprenden estos proyectos. El escenario ideal es aquél donde los organismos operadores del servicio de agua invierten para construir y operar estas plantas; sin embargo, debido al alto impacto de la inversión inicial, en la mayoría de los casos se convoca a empresas privadas para invertir en estos proyectos, estos concursos por lo general concluyen en contratos de tipo BOOT (built, own, operate and transfer) donde las empresas, con supervisión del gobierno, construyen y son propietarias de las plantas, también se encargan de su operación y al término de un periodo en el cual recuperan su inversión y obtienen ganancias (generalmente veinte años) se comprometen a transferir la planta en estado funcional al organismo operador de agua del municipio o localidad donde se instaló. Este es el aspecto más importante y delicado de la instalación de una planta desaladora, donde si bien la población demanda el abasto de agua, también presiona para que el costo de este servicio sea lo mas bajo posible y el organismo operador termina conciliando este deseo de un recurso a bajo costo para la población y el costo de producción por técnicas de desalación que debe ser lo suficientemente alto para que permita recuperar el capital invertido y también generar ganancias.

El debate se incrementa cuando además de producirse el agua por empresas privadas éstas son transnacionales debido a que están compuestas por accionistas o dueños que no son parte de la localidad y que son capaces de demandar a los gobiernos locales sobre la base de leyes de comercio internacional, si sus ganancias no son las estimadas, en este caso es importante fijar que los grupos de transnacionales que conviertan un bien

público como el agua de mar en un bien comercial, en este caso el agua potable, no podrán demandar al gobierno por falta de ganancias en su operación o por reducción de las mismas y deberán ajustar su producción a la capacidad de pago y la demanda de la población que atiendan. Además, en el uso de agua de mar como bien público se debe de garantizar la preservación del ecosistema y los derechos de los usuarios para usos recreativos, navegación y pesca.

4. *Opinión pública*

La opinión pública es un factor importante a considerar en la instalación de una planta desaladora porque los miembros de la localidad van a ser los usuarios del recurso y los responsables del pago por el servicio. Después de muchos años de consumir agua de fuentes naturales con diferentes grados de calidad, la aceptación de un nuevo tipo de agua de una fuente no natural depende principalmente de factores culturales, sociales y económicos. Sydney Loeb,²¹ sobre su experiencia en la aceptación del agua de una desaladora de agua salobre en el Kibbutz Yotvata en Israel, a finales de la década de los sesenta, comentó que las mujeres rápidamente encontraron un buen uso de la nueva agua para el lavado de su cabello, mientras que los hombres se negaban a utilizar esta agua hasta que después de muchas pláticas se les hizo ver los riesgos en la salud por consumir agua salobre.²² En muchos casos la aceptación del agua es inmediata debido a la grave situación de escasez de agua, por ejemplo, en las Islas Canarias, España, se llegó a recurrir al transporte de agua en buques cisterna desde el continente, en este caso, como en muchos otros, la aceptación fue inmediata.

Cuando el abasto de agua proviene de pozos, la necesidad de una nueva fuente de agua no es tan evidente para la opinión pública y los pronósticos de crisis en el futuro inmediato no son estimados en toda su magnitud ya que no se aprecia, como en ríos o presas, la reducción de los niveles, este es el caso de la mayoría de las localidades de la región. La opinión pública está de acuerdo en más de un 80% en contar con una

²¹ Junto a Srinivasa Sourirajan fue el co-inventor del proceso de producción de membranas de ósmosis inversa para desalación.

²² Weintraub, <http://www.weizmann.ac.il/ICS/booklet/8/pdf/sidney.pdf>

planta desaladora si esta le otorga una fuente segura de agua,²³ pero los niveles de aceptación se reducen drásticamente cuando los costos del agua son superiores a la del agua que consume y la opinión puede tornarse en contra si aunado a esto existe oposición política que ofrece otras opciones mas baratas sin importar la sustentabilidad de la solución y que se compromete el recurso para las generaciones por venir. Como sucedió en la ciudad de Hermosillo, Sonora, cuando se estimó que el costo de producción de agua desalada era de 0.90 USdls/m³ mientras que el precio promedio que pagaba un usuario, si contaba con medidor, era de 0.35 \$/m³, el proyecto tuvo mucha oposición de parte de las autoridades municipales de la ciudad y quedó en estado “latente” a pesar del tiempo y el dinero invertido en su evaluación y de la escasez de agua en la zona de la costa de Hermosillo.

Es difícil valorar el peso de la opinión pública sobre la viabilidad de un proyecto de este tipo, pero es importante valorar su participación como fuente de intercambio de información, como escala de valores locales y como mecanismo para establecer la credibilidad del proceso de planeación y evaluación.

5. Aspectos ambientales

Después de más de treinta años de operación de plantas desaladoras en diferentes partes del mundo, no se ha reportado ningún efecto nocivo significativo para el medio ambiente generado por una planta desaladora; sin embargo, se debe considerar que la mayoría de las plantas desaladoras de alta capacidad de producción, más de 20 000 m³-día, se han instalado en zonas donde la actividad económica, industrial y turística ha impactado y modificado el ecosistema previo a la instalación de la planta desaladora por lo que su impacto no implica mayor cambio, que el ya existente. Aun así, la zona costera del Noroeste de México se caracteriza por ser una zona muy rica en biodiversidad y productividad primaria, con zonas de reserva de la biosfera y ecosistemas en áreas naturales protegidas.

Es importante generar modelos tridimensionales para evaluar las capas de dispersión de la salmuera y considerar que estos flujos de salmuera tienen un gradiente de densidad superior al del agua del cuerpo donde se

²³ Encuesta del Diario *El Imparcial* en Hermosillo, Sonora, 2002.

descargan, estos caudales tienen una boyancia negativa y por lo mismo tienden a hundirse hasta el fondo. Por esta razón se genera una interacción con el fondo marino como una capa estratificada que puede reducir la difusión de oxígeno y crea en los sedimentos condiciones de hipoxia. En el alto Golfo de California algunas zonas experimentan episodios de hipoxia de manera natural debido a que una alta incidencia solar y baja intensidad del viento provocan alta evaporación, incrementan la salinidad y la densidad del agua de mar, la cual tiende a migrar al fondo y formar zonas estratificadas,²⁴ en estas zona la presencia de una descarga de salmuera puede exacerbar esta condición. Si la descarga se hace mediante emisores submarinos, además de evitar los ecosistemas algales bentónicos, se debe de promover una mayor mezcla de la salmuera mediante difusores elevados (figura 3).

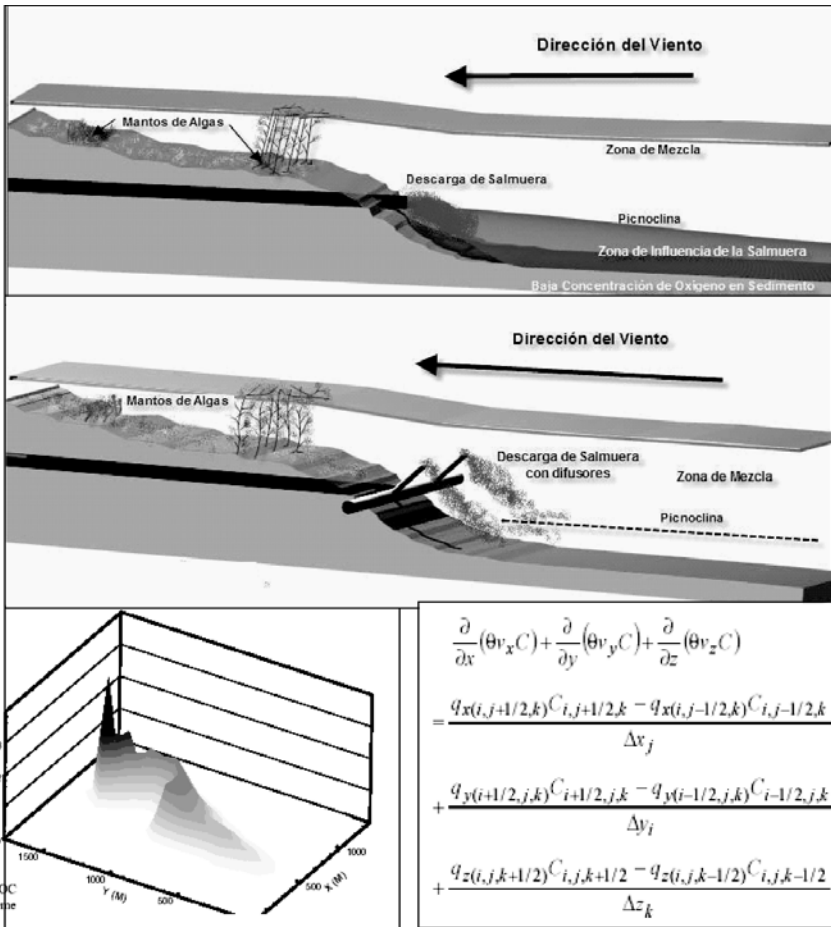
Acorde a la legislación, es muy importante considerar que en la zona de playa, sea de arenas, materiales sueltos o gravas, deberá prestarse especial atención a las variaciones estacionales del perfil de playa, así como al perfil de erosión que puede resultar de temporales y tormentas previsibles, de manera que la estructura del emisor o emisores no sea afectado por estas variaciones con una probabilidad admisible. Esta estabilidad mecánica y estructural de la obra debe ser acorde a las fuerzas del mar a las que se va a exponer. Se debe asegurar la estabilidad química de los materiales empleados en la obra de manera que resistan la capacidad corrosiva del agua de mar y de la salmuera que conducen. El sistema de impulsión debe procurar el menor consumo de energía y aprovechar en lo posible el vertido por gravedad. En todos los casos deberá garantizarse la adecuación del caudal del emisor a las diferentes condiciones de funcionamiento, tales como caudal afluente, nivel del mar y pérdidas de carga. Por lo que de ser necesario se debe de instalar una estación de bombeo en la cabecera del emisor. La descarga de salmuera mediante inyección en pozos y/o mediante percolación en pozas es viable, incluso recomendable, en casos donde los caudales y las condiciones geohidrológicas del acuífero marino somero lo permiten debido a un adecuado tamaño de poro y capacidad de dispersión.²⁵ Esta forma de dispersión permite la difu-

²⁴ López, M. y García, J., "Moored Observations in the Northern Gulf of California: A Strong Bottom Current", *Journal of Geophysical Research*, vol. 108, núm. C2, 3048, 2003.

²⁵ Marina Country Water District, *Desalination Feasibility Study*, California, Marina, 1992.

sión gradual de la salmuera dentro del acuífero marino y va reduciendo su salinidad conforme avanza hacia la playa de tal forma que cuando esta salmuera alcanza la zona de rompientes la salinidad es menor a la concentración tóxica o de 40 000 ppm que es la DL50 para la zona de las costa del pacífico de Baja California.

Figura 3
Modelos de dispersión y zonas de influencia de salmuera



6. *Indicadores de sustentabilidad*

Las tecnologías de desalación permiten la producción de agua potable de alta calidad a partir de agua de mar. Al incorporar al medio un recurso se puede decir, por definición, que el proceso de desalación es sustentable; sin embargo, como todo proceso productivo, el cuidado al medio ambiente es la clave para su construcción y operación. Los sistemas de tomas de agua de mar y de descarga de salmuera, las emisiones derivadas por la energía consumida, incluso la contaminación por ruidos y el contraste visual de una desaladora, son factores que deben ser atenuados para que su impacto al medio ambiente sea mínimo.

Es posible considerar al agua de mar como una fuente inagotable para la producción de agua; sin embargo, es importante considerar que el agua de mar no es una simple solución salina, en realidad es un medio biológico activo que además de contener sales presenta diferentes tipos de moléculas, partículas y organismos vivos. Por lo mismo, el agua de mar que se destine a desalación requiere, en mayor o menor grado, someterse a un pretratamiento de acuerdo al tipo de proceso de desalación, el diseño del sistema de toma de agua y la naturaleza del agua de mar. La desalación de agua de mar por destilación es un proceso que no es tan susceptible a la calidad del agua de mar como en el caso del proceso de ósmosis inversa donde el diseño de los sistemas de toma de agua y descarga de salmuera son clave para su operación.²⁶

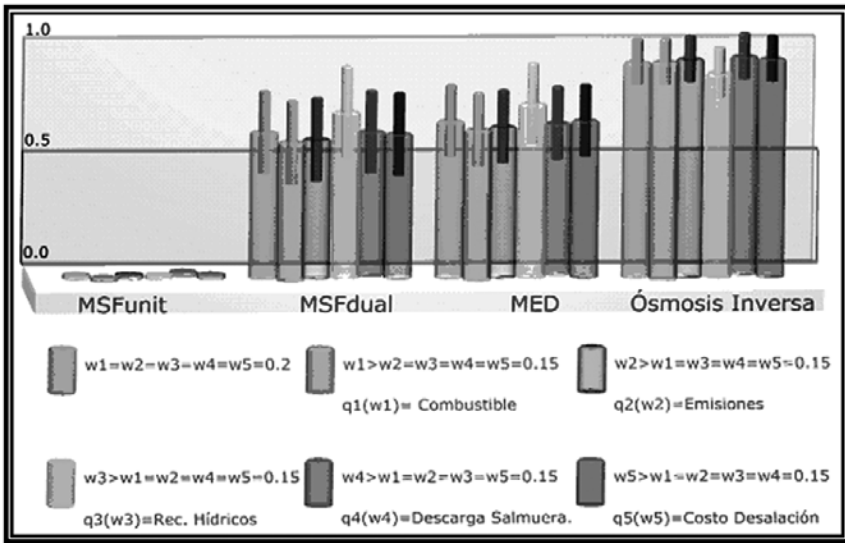
El consumo de energía, eléctrica o térmica, es uno de los principales conceptos que determinan los costos de desalación y aunque las plantas desaladoras en si no generan emisiones a la atmósfera, las emisiones que generan las plantas de energía asociadas deben de ser consideradas como un concepto ambiental indirecto. Los autores de “Sustainability Assessment of Desalination Plants for Water Production”,²⁷ comparan una serie de indicadores de sustentabilidad de las diferentes tecnologías de desalación en los que incluye indicadores ambientales de emisiones de CO₂, SO₂ y NO_x. Las plantas unitarias de evaporación súbita por efecto “flash” (MSF por sus siglas en inglés) consumen gran cantidad de recursos y generan la mayor cantidad de emisiones. Se observa que las plantas

²⁶ Wriqth, R. y Missimer, T. M., *Pretreatment Cost Evaluation of Surface-Water Versus Alternative Intake Systems for Seawater Membrane Treatment Plants*, 1998.

²⁷ Afgan, N. H. *et al.*, *op. cit.*, nota 15.

desaladoras por ósmosis inversa presentan, además de las ventajas económicas y tecnológicas, menor impacto ambiental por sus índices de emisiones y un mayor índice de sustentabilidad (figura 4). Aunque aún no se aplican a gran escala la desalación con fuentes de energía renovables (solar fotovoltaica, eólica y geotérmica) éstas *no* tienen impacto.

Figura 4
Índices generales de sustentabilidad Q y sus intervalos de variación



Las medidas de conservación y reuso de agua se basan en programas públicos de información y educación con resultados a largo plazo y que deben ser difundidos y reforzados de manera constante por muchos años, para que su objetivo sea captado por diferentes generaciones de usuarios; sin embargo, la implementación de estos programas y los ahorros que se logran no son suficientes para reducir la explotación de los acuíferos, si la demanda se mantiene en aumento.²⁸

²⁸ Marina Country Water District, *Environmental Impact Study*, California, Marina, 1999.

V. CONCLUSIONES

La desalación es un proceso viable.

Si bien la *no*-instalación de plantas desaladoras evitaría los posibles impactos ambientales y económicos asociados con su construcción y operación, los cuales pueden ser atenuados hasta niveles de *no*-significativos, la *no*-instalación de desaladoras no va a reducir la sobreexplotación de los mantos acuíferos y no va a reducir la dependencia de agua de zonas remotas, los impactos ambientales que genera la intrusión salina y la reducción de la calidad del agua, son muy grandes y su efecto permanece por periodos de tiempo muy largo. En las principales ciudades de la región se demandan caudales alternos que las fuentes actuales no tienen disponible a menos que se quiera incrementar los problemas de intrusión salina en los acuíferos costeros o se inviertan grandes capitales en acueductos monumentales que serán insuficientes en un futuro inmediato, como ha ocurrido con el acueducto de Mexicali a Tijuana.

El modelo de explotación de agua, que se aplica en la región, *no* es sustentable porque ha generado el agotamiento, reducción de la calidad de las fuentes locales de agua e intrusión salina, ha generado la dependencia de zonas remotas y promueve el incremento de los costos del agua al tener que perforar y bombear agua de pozos progresivamente más profundos e incrementar la capacidad de conducción de los acueductos y los procesos de purificación.

Definitivamente, la dependencia de zonas remotas y el agotamiento de los recursos naturales es una opción *no viable* y se deben de tomar en cuenta los procesos que promuevan la producción y conservación de los recursos naturales con un impacto no significativo al medio ambiente, la desalación por ósmosis inversa es la alternativa superior, ya que incorpora un recurso natural y los impactos de su operación pueden ser atenuados hasta niveles no significativos.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- AFGAN, N. H. *et al.*, "Sustainability Assessment of Desalination Plants for Water Production", *Desalination*, núm. 124, 1999.
- BARNETT F., Dodge, *Review of Distillation Processes for the Recovery of Fresh Water from Saline Waters*, Saline Water Conversion II, American Chemical Society, 1963.

- BEBE, J. V. del *et al.*, “Ocean Brine Disposal”, *Desalination*, vol. 97, 1994.
- BUROS, O. K., *The Desalting ABC's. for International Desalination Association*, 1990.
- , *The Desalting ABC's. for International Desalination Association*, 2000.
- CALIFORNIA COASTAL COMMISSION, 1999, <http://www.ceres.ca.gov/coastalcomm/web/>
- , *Seawater Desalination and the California Coastal Act*. 2003, California, CCC, 2003, <http://www.coastal.ca.gov/energy/14a-3-2004-desalination.pdf>
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, *Plan Nacional de Desarrollo y Programa Hidráulico 1995-2000*, México, Subdirección de Programación, 1995.
- , *Diagnóstico de las regiones I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII y XIII*, México Comisión Nacional del Agua-Subdirección de Programación-gobierno de México, 1997.
- , *Consejo de Cuenca de Baja California*, México, gobierno de México, 1999.
- Diario *El Imparcial de Sonora*, Sonora, mayo de 2001.
- HOH, “Model SeaRO-84ERS 1000 m³/day”, *Desalination*, 2002.
- IDA, International Desalination Association, 1998.
- INEGI, *Censo de Población y de Vivienda de México*, México, INEGI, 2000.
- , *Estudio Hidrológico del Estado de Sonora*, México, INEGI, 1995.
- LOEB, S., “Reverse Osmosis: Introduction, in Membrane Processes”, *Encyclopedia of Desalination and Water Resources*, Oxford, Eolss Publishers, <http://www.desware.net>
- LÓPEZ, M. y GARCÍA, J., “Moored Observations in the Northern Gulf of California: A Strong Bottom Current”, *Journal of Geophysical Research*, vol. 108, núm. C2, 3048, 2003.
- MARINA COAST WATER DISTRICT, *Desalination Plant-Intake Well. General Mineral, General Physical, Inorganic Chemicals*, California, Marina, 1999.
- , *Environmental Impact Study*, California, Marina, 1999b.
- MARINA COUNTRY WATER DISTRICT, *Desalination Feasibility Study*, California, Marina, 1992.

- PIQUE, G., "Low Power Hill Makes Seawater Desalination Affordable", *The International Desalination & Water Reuse*, vol. 15, núm. 3, 2005.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, *Seawater Desalination in Mediterranean Countries: Assessment of Environmental Impacts and Proposed Guidelines for the Management of Brine*, Venecia, 2001.
- VALERO, A. *et al.*, *La desalación como alternativa al PHN*, España, presidencia del gobierno de Aragón, 2001.
- WANGNICK, Klaus, *IDA Worldwide Desalting Plants Inventory Report No. 15*, Wangnick Consulting for International Desalination Association, 1998.
- WATER DESALINATION REPORT , vol. VI, núm. 11, 12 de marzo de 1970.
- , vol. 37, núm. 47, 29 de noviembre de 2001.
- , vol. 39, núm. 16, 18 de abril de 2003.
- , vol. 40, 1o. de enero de 2004.
- WEINTRAUB, <http://www.weizmann.ac.il/ICS/booklet/8/pdf/sidney.pdf>
- WRIGTH, R. y MISSIMER, T. M., *Pretreatment Cost Evaluation of Surface-Water Versus Alternative Intake Systems for Seawater Membrane Treatment Plants*, 1998.
- www.economagic.com