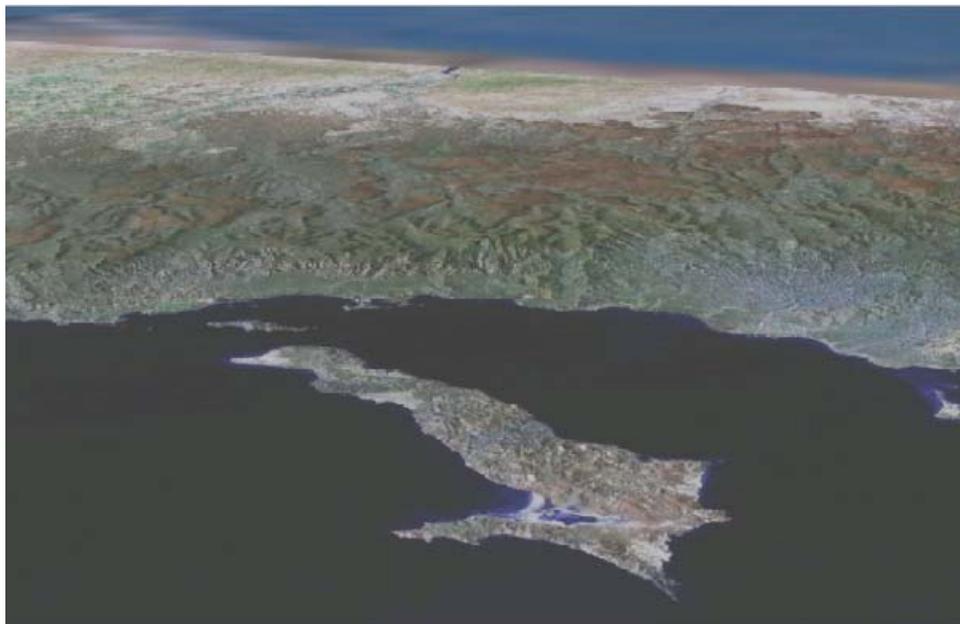


LOS RETOS PARA LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA REGIÓN DE LORETO

BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO



**ESTUDIO PRESENTADO A LA INTERNATIONAL
COMMUNITY FOUNDATION**



**SHERWOOD DESIGN ENGINEERS
Diciembre, 2006**

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	2
LISTA DE CUADROS.....	2
1 Resumen Ejecutivo	3
2 Introducción.....	5
3 Información general sobre la región de Loreto.....	10
3.1 Toda la región	10
3.2 Parque Nacional Marino Bahía de Loreto	10
4 Crecimiento demográfico y demanda de agua existentes y pronosticados.....	11
4.1 Actuales recursos de agua potable y su utilización en Loreto	11
4.2 Utilización pronosticada del recurso agua en Loreto	11
4.3 Retos para el suministro futuro de agua en Loreto	12
5 Oportunidades para la gestión del agua en Loreto.....	14
5.1 El mejoramiento de la conservación del agua	14
5.2 Inversiones en la infraestructura existente.....	17
5.3 Expansión de los recursos existentes	17
5.4 Fuentes alternativas de agua: Desalinización	18
5.4.1 Aplicación histórica y actual	19
5.4.2 Instalaciones para la toma de agua	19
5.4.3 Tecnologías de proceso.....	24
5.4.4 Pretratamiento y mantenimiento general	32
5.4.5 Consumo de energía	34
5.4.6 Agua producto y aguas residuales	36
5.4.7 Agua producto	36
5.4.8 Salmuera	36
6 Beneficios y riesgos de la desalinización	39
6.1 Beneficios	39
6.2 Riesgos.....	39
6.2.1 Impactos ambientales.....	39
6.2.2 Instalaciones para la toma de agua	40
6.2.3 Pretratamiento.....	40
6.2.4 Salmuera	41
6.2.5 Agua producto	41
6.2.6 Soluciones no integradas y aplicaciones no planeadas.....	42
6.2.7 Afectaciones a medidas de conservación	42
6.2.8 Potencial de los costos fluctuantes y prohibitivos para los usuarios	43
7 Mejores prácticas para tecnologías de desalinización	44
7.1.1 Cómo escoger una ubicación para una planta desaladora en la región de Loreto	47
8 Conclusión – Mejores prácticas para la gestión del agua en Loreto.....	49
9 Referencias	52
10 APÉNDICE.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa regional de Loreto y poblaciones aledañas	7
Figura 2. Toma con filtros de rejilla sin lavado mecánico (Fotografía cortesía de Eurosot Industry)	21
Figura 3. Diagrama de pozo playero de agua de mar	22
Figura 4. Ilustración de pozo horizontal radial	24
Figura 5. Capacidad tecnológica para la desalinización a nivel mundial (Glueckstern 2004)	25
Figura 6. Capacidad tecnológica para la desalinización en California (Cooley et al. 2006)	26
Figura 7. Proceso de la osmosis inversa (Cortesía de RBF Consulting)	30
Figura 8. Diagrama de un intercambiador de presión.....	35

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Uso de agua pronosticado en Loreto (Steinitz et al. 2005, Quintero 2006).....	12
Cuadro 2. Requerimientos de superficie para plantas de desalinización.....	31
Cuadro 3. Consumo de energía eléctrica con la osmosis inversa	34

1 Resumen Ejecutivo

La región de Loreto, ubicada en Baja California Sur, México, está experimentando un crecimiento rápido en los sectores de turismo y desarrollo urbanístico. En vista de esa tendencia, los planificadores prevén un crecimiento paralelo en la demanda del abastecimiento de agua potable, la que ya de por sí se encuentra bajo estrés debido al clima árido de Loreto. De acuerdo con el estudio *Alternative Futures for the Region of Loreto, Baja California Sur, Mexico* [*Futuros alternativos para la región de Loreto, Baja California Sur, México*], si no se interviene de manera positiva, es probable que la demanda de agua acabe por rebasar los recursos acuíferos existentes en la región. Como respuesta, los tomadores de decisiones están considerando la tecnología de desalinización como una opción para complementar los actuales suministros de agua potable. En este informe se investigan los siguientes pasos a dar con el propósito de lograr una gestión eficiente de los recursos acuíferos en Loreto, así como las mejores prácticas de tecnologías de desalinización para proporcionar fuentes adicionales de agua potable dentro del contexto del Plan de Desarrollo Urbano (PDU) de Loreto.

La respuesta ante estos retos debe consistir en un esfuerzo combinado que incluya la conservación del agua, mejoras en la eficiencia de la infraestructura existente, aumento de los recursos existentes y una investigación sobre la viabilidad de las instalaciones de desalinización. Antes de implementar la desalinización, es esencial estudiar el potencial para un mejor uso y manejo de los recursos acuíferos existentes. Entre otras cosas, eso implica evaluar el potencial para llevar a cabo medidas de conservación del agua y cuantificar el mayor beneficio, en términos de agua, que se pueda obtener con su implementación. La evaluación de la infraestructura existente debe darse conjuntamente con las medidas de conservación.

El proceso de desalinizar el agua de mar para convertirla en agua potable no es una tecnología nueva. Existe una amplia gama de métodos para tener acceso al agua salada, eliminar las sales y evacuar los desechos de la desalinización; cada uno de estos procesos tiene impactos ambientales. Los métodos utilizados actualmente para la toma de agua de mar y la eliminación de la salmuera resultante de la desalinización pueden tener efectos intrusivos sobre los ambientes marinos. Hoy en día, la tecnología preferida para desalinizar el agua salobre y el de mar es la osmosis inversa (OI). La tecnología de la

osmosis inversa sigue siendo una solución factible para la desalinización, por lo general debido a sus requerimientos más bajos en términos de energía y uso del suelo.

Los productos de los procesos de desalinización son, por una parte, un recurso de agua potable de alta calidad y, por otra, una corriente de aguas residuales de salmuera altamente salina. Se plantean numerosos retos cuando se establece una planta de desalinización con una infraestructura ya existente para producir agua potable, pero aún más difícil es la evacuación sustentable de las aguas residuales, que son altamente saladas. Hasta la fecha, las aguas residuales saladas son descargadas de nuevo en cuerpos de agua grandes, generalmente al mar. Semejante práctica implica un peligro ambiental considerable para la vida y hábitat marinos tan singulares de la región de Loreto.

En este documento se describe un conjunto de mejores prácticas para la desalinización que deben ser incorporadas en el diseño y selección de la ubicación de una planta desaladora. No hay ningún conjunto de mejores prácticas para la desalinización en cualquier ambiente; más bien, las mejores prácticas dependerán del sitio en cuestión, es decir, de sus limitaciones naturales y para el desarrollo. Las mejores prácticas para la tecnología de la desalinización deben basarse en las condiciones de la localidad, la calidad de agua que se necesite, la disponibilidad de recursos ingenieriles y para la construcción, y los potenciales impactos en los recursos de agua existentes, tales como los acuíferos. En el mejor de los casos, las prácticas deben incluir métodos para extraer agua subterránea salobre, métodos alternativos para el pretratamiento, procesos de desalinización específicos y eliminación de la salmuera.

La región de Loreto tiene ciertas limitaciones específicas para situar una planta desaladora. Entre ellas figuran la presencia del Parque Nacional Marino Bahía de Loreto y la ubicación de las actuales reservas de agua. Por otra parte, la infraestructura existente en la región y el crecimiento rápido de ésta aceleran el posible desarrollo de instalaciones de desalinización en forma individual. Para determinar el futuro de Loreto, serán cruciales tanto la aplicación, por parte de la comunidad, de mejores prácticas como su comprensión de la manera en que la desalinización pueda conformar la trayectoria de la región.

2 Introducción

Loreto es una región ecológicamente única e histórica, ubicada en un ambiente costero en la parte oriental de Baja California Sur, México (Figura 1). Loreto se encuentra en una fase de desarrollo en que se está ampliando la utilización de sus recursos naturales, en particular el agua potable. A menudo el desarrollo puede verse inhibido por la falta de energía eléctrica, agua potable e instalaciones apropiadas para la evacuación de desechos. Conforme se va investigando el empleo de recursos alternativos, es importante entender las implicaciones sociales, económicas y ambientales de acelerar el ritmo del desarrollo más allá de los niveles de los recursos naturales existentes.

La región de Loreto tiene limitaciones específicas para el establecimiento de una planta desaladora. Entre ellas están la presencia de un parque marino y la ubicación de las actuales reservas de agua. Por otra parte, la infraestructura existente en la región y el crecimiento acelerado de ésta incrementan el deseo de algunos residentes de desarrollar instalaciones de desalinización privadas. Serán elementos cruciales para llegar a una solución bien integrada y productiva la aplicación de mejores prácticas y también una comprensión de las implicaciones de la manera en que la desalinización conformará el futuro de la región.

Cuando fue creado en 1973 por el gobierno federal de México, FONATUR (Fondo Nacional de Fomento al Turismo) identificó cinco destinos en el país que tenían el potencial más alto para turismo en el futuro: Cancún, Los Cabos, Ixtapa-Zihuatanejo, Huatulco y Loreto. Actualmente, este último es el único de dichos lugares que no haya sido desarrollado como un destino turístico principal, debido más que nada a la pobre calidad de sus playas y a una falta de inversiones privadas a lo largo de su historia. En consecuencia, el futuro éxito del mercado de Loreto dependerá más de las preferencias de dueños de casas que opten por breves estancias de lujo en propiedades suyas que de turistas que busquen amenidades específicas que les pueda ofrecer un destino turístico. Tales mercados de propiedades tienen el potencial de desarrollar su infraestructura pública de una manera más integral y comunitaria que los mercados formados como destinos turísticos tradicionales. Actualmente, FONATUR posee casi 30 km² de tierras en la región de Loreto y tiene la intención de desarrollarlas, principalmente en Nopoló y en el área de Puerto Escondido-Ligüi (Steinitz et al. 2005).

En 2005, en la investigación *Alternative Futures for the Region of Loreto, Baja California Sur, Mexico* [*Futuros alternativos para la región de Loreto, Baja California Sur, México*] dirigida por Carl Steinitz del Graduate School of Design de la Universidad de Harvard, se examinaron los posibles escenarios de crecimiento demográfico en la región, en respuesta a un plan de desarrollo urbano propuesto por FONATUR. En ese estudio, se analizan los efectos del desempeño económico, cambios demográficos, inversiones privadas y públicas, y políticas gubernamentales sobre la conservación y el desarrollo urbano en la región de Loreto en Baja California Sur, México. Las proyecciones hechas en el estudio consideran las próximas dos décadas, en un esfuerzo para evaluar cómo tales cambios tendrán impactos inevitables sobre el paisaje natural de la región, así como en sus características sociales, económicas y estéticas. En la investigación se presentan varios *futuros alternativos* para la región de Loreto mediante la utilización de modelos digitales computacionales con los que se evaluó la atracción de la región para los principales tipos de uso del suelo de esta área hasta el año 2025 (véase www.futurosalternativosloreto.org para el informe completo).

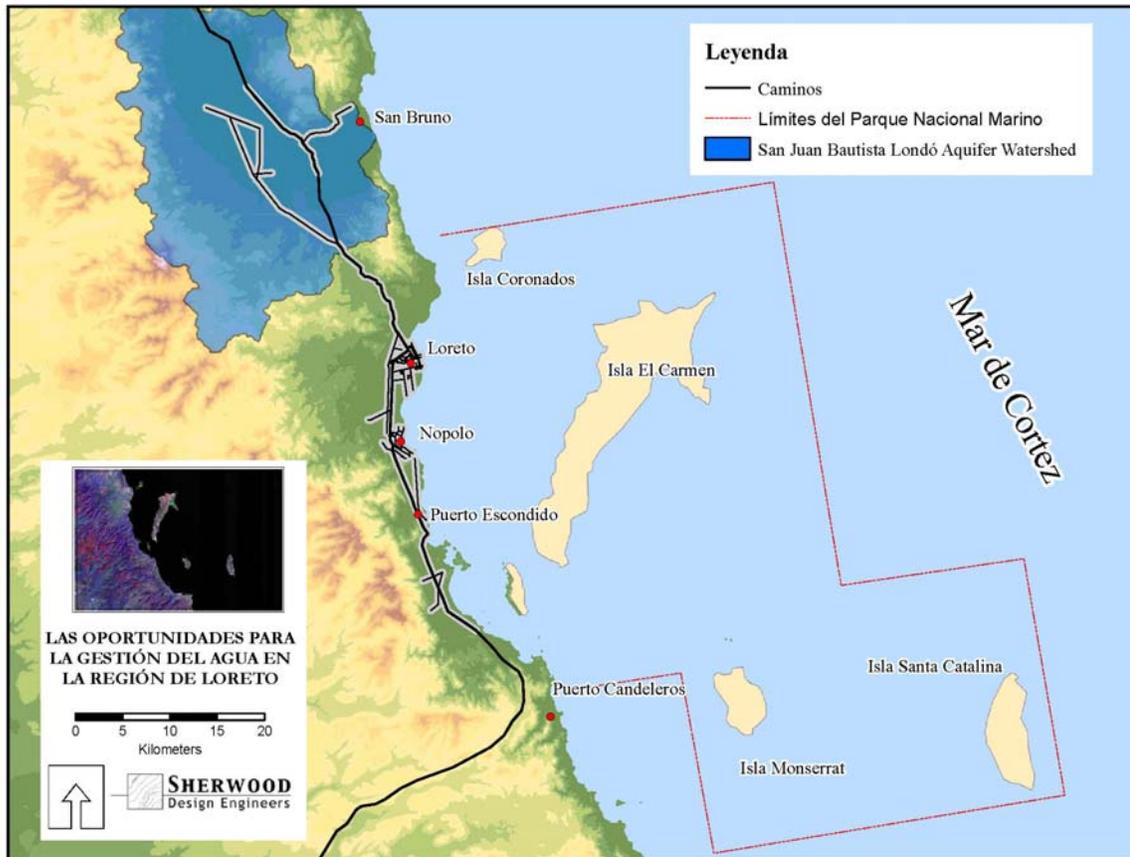


Figura 1. Mapa regional de Loreto y poblaciones aledañas

Los modelos digitales preparados para el *Alternative Futures Study* también fueron utilizados para predecir los impactos económicos, ecológicos, hidrológicos y visuales asociados con cada alternativa frente a una variedad de opciones de políticas. Dichas opciones cubrían cinco escenarios respecto a proyecciones de población con diferentes desarrollos futuros: 30,000, 60,000, y 90,000, cada uno con una relación habitantes/cuartos de 15:1; 120,000, con una relación habitantes/cuartos de 10:1, y 240,000, con una relación habitantes/cuartos de 20:1 (Steinitz et al. 2005).

- *Sin Planeación* supone que todas las tierras en la región de Loreto están disponibles para ser desarrolladas. No obstante, no se incluyen áreas con pendientes especialmente abruptas o que se inundan frecuentemente, a fin de considerar los probables comportamientos de los terratenientes y promotores inmobiliarios en el momento de elegir un lugar para el desarrollo.

- *Plan Propuesto*, en este caso por FONATUR, el organismo mexicano encargado del desarrollo turístico, prevé un aumento en la población permanente de Loreto de aproximadamente 15,000 hasta 240,000¹ y la introducción de 12,000 cuartos destinados al turismo (de hotel, de tiempo compartido y condominios) para el año 2025 (Steinitz et al. 2005).
- *Loreto 2025* es el nombre de una organización local formada por grupos cívicos y comerciales que desarrolló una alternativa para el Plan Propuesto por FONATUR. Sin embargo, el plan de Loreto 2025 pretende restringir el crecimiento de la población en Loreto a 60,000, y también restringe la mayor parte del crecimiento futuro a las áreas en el norte en las inmediaciones de Loreto (Steinitz et al. 2005).
- *Proactivo Moderado* se centra en la protección de importantes “bienes públicos” tales como los hidrológicos, ecológicos, visuales, recreativos y económicos. En esta opción de política, se protegen las áreas que se considera tienen un valor ecológico o visual, además de las que son susceptibles de sufrir inundaciones por huracanes, tienen arroyos (que se inundan con frecuencia), y las que tienen una biodiversidad muy valiosa, pendientes abruptas y corredores visuales de alta calidad.
- *Proactivo Muy Regulado* establece las mismas pautas que *Proactivo Moderado*, si bien sus políticas respecto a la protección visual son mucho más severas; como resultado, se imponen mayores restricciones al desarrollo del suelo en la región.

En dicho estudio, se llega a la siguiente conclusión: “cualquier desarrollo en el futuro tendrá que encontrar una fuente alternativa de agua para dicho desarrollo y el crecimiento demográfico correspondiente (Steinitz et al. 2005). La premisa del presente informe es que la mejor manera de adquirir semejante “fuente alternativa de agua” en el corto plazo es a través de la protección y mejoramiento del recurso, aunado posiblemente al desarrollo de una fuente completamente nueva, a saber, la desalinización. En primer lugar, examinaremos la base de la protección y el mejoramiento, que consiste principalmente en la conservación, mejoras a la infraestructura y expansión de las

¹ Si se emplean las normas oficiales de SEMARNAT de relaciones de residentes/habitaciones de hotel de 20:1, se llega a un total de 240,000 residentes para 12,000 cuartos de hotel. En el plan publicado por FONATUR, se utilizó una relación de 9.7:1 (o sea, 116,400 residentes para 12,000 camas de hotel).

reservas existentes. Sin embargo, nuestro enfoque estribará en evaluar el estado actual de las tecnologías de desalinización y en identificar los riesgos ambientales y constreñimientos técnicos relacionados con su implementación.

3 Información general sobre la región de Loreto

3.1 Toda la región

El primer pueblo español fundado en la Península de Baja California, Loreto fue otrora la capital de Las Californias (Baja California, que originalmente incluía toda la península mexicana y Alta California, que estaba compuesta de los actuales estados de E.U. de California, Nevada, Utah, Arizona y Wyoming) desde 1697 hasta 1777. Hoy día, constituye uno de los cinco municipios del Estado de Baja California Sur. La población de la región consta de aproximadamente 16,000 habitantes, la mayoría de los cuales residen en la ciudad de Loreto.

3.2 Parque Nacional Marino Bahía de Loreto

La región de Loreto también incluye un área marina protegida expresamente. El Parque Nacional Marino Bahía de Loreto, que se puede apreciar en la Figura 1, abarca una superficie de casi 2,065 km², entre los cuales se encuentra la mayor parte del mar incluido en el área de estudio utilizado en *Alternative Futures for the Region of Loreto* (Steinitz et al. 2005). Creado originalmente por un Decreto Presidencial, el establecimiento del Parque Marino Nacional Bahía de Loreto fue aprobado por el Congreso Federal de México el 19 de julio, 1996. Posteriormente, el día 14 de julio, 2005, fue designado por la ONU como Sitio de Patrimonio Mundial de la Humanidad de la UNESCO. El significado ecológico del Parque Nacional Marino Bahía de Loreto, que cubre 206,492 hectáreas, se deriva de su ubicación en el Mar de Cortés, que alberga 35% de las especies de mamíferos marinos del mundo, 60% de todas las especies de cetáceos de la Tierra (las cuales incluyen ballenas, delfines y marsopas) y cerca de 800 especies de peces (The Nature Conservancy 2006).

En este parque, la biodiversidad es alta, con más de 1,000 especies de plantas y animales, las cuales representan 33% de las especies presentes en el Mar de Cortés. De éstas, 139 han sido clasificadas como en peligro de extinción, amenazadas, raras o sujetas a protección especial y, entonces, están protegidas por la ley (López et al. 2006). Además del valor de la región por su biodiversidad y vida silvestre, la pesca de subsistencia y la pesca deportiva son muy populares, lo cual contribuye a la cultura y economía que sostienen a la actual población de Loreto.

4 Crecimiento demográfico y demanda de agua existentes y pronosticados

4.1 Actuales recursos de agua potable y su utilización en Loreto

El SAPAL (Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de Loreto) maneja el actual sistema municipal de agua que da servicio a siete comunidades de la región de Loreto bajo la autoridad de la Comisión Nacional del Agua (CNA). La principal fuente de recursos acuíferos para la ciudad de Loreto y de una porción de los recursos acuíferos destinados a la comunidad de Nopoló es el Acuífero de San Juan Bautista Londó, que se puede apreciar en la Figura 1. El acuífero está ubicado a aproximadamente 30 kilómetros al noroeste de Loreto y cuenta con cuatro pozos operados por FONATUR; con dichos pozos se extraen aguas subterráneas, las cuales son distribuidas en esas dos comunidades. El suministro de agua a Nopoló se ve enriquecido por dos pozos profundos que operan en un área conocida como Los Gemelos. Anteriormente, había pozos para el suministro de agua en la cuenca de aguas subterráneas de Loreto, pero hace aproximadamente 20 años se determinó que ya no servían porque estaban contaminados. Por esa razón, el municipio ya no utiliza dichas aguas subterráneas de la cuenca de Loreto (Quintero 2006).

El SAPAL estima que, con el sistema de distribución actual, se desperdicia entre 30% y 40% del agua mediante el uso normal debido a fugas y a una infraestructura ineficiente. Los loretanos utilizan unos 513 litros/día per cápita, en comparación con el uso promedio de agua en toda Baja California Sur, que es de 300 litros/día. Por lo tanto, los 16,000 residentes de la región de Loreto consumen una cantidad de agua equivalente a la que es consumida por más de 27,000 personas, es decir, 8,200 m³/día. El acuífero también proporciona agua para la agricultura al norte de Loreto en la Cuenca de San Juan Londó, aunque no se dispone de estimaciones del volumen de dicho uso (Quintero 2006).

4.2 Utilización pronosticada del recurso agua en Loreto

En ausencia de esfuerzos significativos en apoyo a cambios, no se prevé que los patrones de uso de agua se modifiquen conforme Loreto crece, de modo que no se espera que el consumo de agua por parte de los loretanos disminuya mucho. A menos que se apliquen medidas de mitigación para fomentar la conservación y mejorar la infraestructura existente, se espera que las tasas de uso de agua per cápita sigan siendo más o menos

del orden de las actuales. A continuación, en el Cuadro 1 se muestra el uso de agua pronosticado en la región de Loreto tal como se determinó en el estudio *Alternative Futures for the Region of Loreto*.

Population in 2025	Sin Planeación (m ³ /day)	Plan Propuesto (m ³ /day)	Loreto 2025 (m ³ /day)	Proactivo* (m ³ /day) ¹
30,000	18,000	15,000	15,000	15,000
60,000	32,400	27,000	27,000	27,000
90,000	42,750	36,000	36,000	36,000
120,000	49,800	42,000	42,000	42,000
240,000	84,000	72,000	72,000	72,000

Cuadro 1. Uso de agua pronosticado en Loreto (Steinitz et al. 2005, Quintero 2006)

* En el Cuadro 1, se combinan las estimaciones para la demanda de agua en los escenarios de crecimiento Proactivo Moderado y Proactivo Muy Regulado porque su consumo de agua y población son idénticos.

4.3 Retos para el suministro futuro de agua en Loreto

Con las reservas de agua existentes en Loreto no se podría satisfacer las demandas per cápita correspondientes a las predicciones de crecimiento demográfico descritas en el estudio *Alternative Futures for the Region of Loreto*. En un estudio hidrogeológico preparado por la Universidad de Arizona para apoyar el de *Alternative Futures* se pronosticó que, bajo las condiciones actuales de recarga, el sistema del Acuífero de San Juan Londó sufriría intrusión de agua de mar en todos los escenarios de crecimiento propuestos para Loreto. Se espera que una parte de dicha intrusión ocurra dentro de los próximos tres años bajo el escenario de crecimiento *Sin Planeación* (Maddock 2005). En otro estudio publicado por la Sociedad de Historia Natural Niparajá (Cassassuce 2006), también se predijo que en el futuro, las demandas de agua rebasarían el rendimiento sustentable del acuífero, si bien no sería por la intrusión de agua de mar. La Sociedad de Historia Natural Niparajá llegó a la conclusión de que el mayor riesgo para el acuífero consiste en la contaminación por aguas termales que contienen boro y sulfato, entre otros contaminantes. Se prevé que dicha contaminación ocurra aun en el caso de que no haya otros desarrollos en la región de Loreto y la extracción de aguas subterráneas continúe a su ritmo actual (Cassassuce 2006).

Con estos estudios recientes del sistema del Acuífero de San Juan Londó, junto con las demandas de agua proyectadas que se presentaron en el Cuadro 1, está claro

que en el futuro, la región de Loreto enfrentará retos significativos en materia de abastecimiento de agua. En la actualidad, la población existente está utilizando aproximadamente 8,200 m³/día y se espera que consuma desde dos hasta diez veces esa cantidad dentro de 20 años, de acuerdo con las predicciones de crecimiento demográfico incluidas en el estudio *Alternative Futures for the Region of Loreto*. En los análisis de aguas subterráneas ya citados, se encontraron deficiencias en el actual rendimiento sustentable del sistema del acuífero. Asimismo, en ambos estudios se pronostican condiciones de sobreextracción si persisten las tasas de crecimiento demográfico y de consumo de agua que se observan ahora. Conforme Loreto sigue creciendo, los suministros de agua existentes simple y sencillamente no podrán satisfacer la demanda.

5 Oportunidades para la gestión del agua en Loreto

Como ya se mencionó en la Introducción, los tomadores de decisiones locales tienen cuatro oportunidades para mejorar las actuales condiciones de suministro de agua, así como evitar escaseces futuras en Loreto. Esas oportunidades son: conservación del agua, mejoras a la infraestructura, expansión de los recursos de agua dulce existentes y desarrollo de nuevas fuentes de agua. Aunque los ahorros de agua específicos que se puedan lograr con la implementación de las tres primeras medidas mencionadas no pueden ser cuantificados a menos que se realicen estudios adicionales, los historiales bien documentados de todas esas medidas indican que constituyen maneras eficaces y costo-eficientes para hacer alcanzar las reservas existentes. En consecuencia, es necesario evaluar su potencial minuciosamente antes de que se comprometan recursos para desarrollar fuentes alternativas de agua más costosas y potencialmente más dañinas para el medio ambiente.

La preparación de un plan regional de gestión del agua constituye el primer paso para determinar la aplicabilidad de las medidas de conservación, mejoras a la infraestructura y expansión de las fuentes de agua dulce a las condiciones particulares de Loreto en cuanto a reservas y suministro de agua. Los planes de gestión del agua empiezan por cuantificar las demandas de agua y fuentes de abastecimiento existentes, para luego fijar metas de servicio y hacer proyecciones respecto a las cargas futuras que se esperan al sistema regional de agua. A menudo tales documentos se elaboran en conjunción con un esfuerzo de planificación o con la preparación de un plan de desarrollo urbano y pueden ser sumamente útiles para determinar si las reservas de agua van de acuerdo con los planes respecto al crecimiento poblacional.²

5.1 El mejoramiento de la conservación del agua

En una región donde se tienen que hacer esfuerzos para que los recursos hídricos alcancen debido a un mayor desarrollo, el método más práctico consiste en ajustar los

² En su página web, el California Department of Water Resources [Departamento de Recursos Hídricos de California] ofrece una guía destinada a proveedores de agua para que puedan desarrollar planes urbanos de gestión del agua (<http://www.owue.water.ca.gov/urbanplan/docs/GuidebookUrban.pdf>). Dicha guía esboza medidas de conservación y obliga a los usuarios a aplicar números de uso realistas a poblaciones esperadas.

patrones actuales de uso de agua a fin de maximizar las reservas existentes del recurso. Las medidas de conservación del agua representan la primera mejor práctica para adaptar las reservas de agua existentes a una población en crecimiento. No obstante, primero es necesario cuantificar el ahorro real de agua que se logra con la implementación de medidas de conservación específicas. Si se compara el volumen de ahorro de agua que corresponde a cada medida con el costo de su implementación, será posible determinar si la medida es a la vez factible y costo-efectiva. Asimismo, dicha comparación ilustrará el grado en que la medida en cuestión pueda ayudar a aplazar el desarrollo de recursos hídricos adicionales que se necesitarán para apoyar el crecimiento en el futuro.

Como primer paso para desarrollar una estrategia de conservación, se debe monitorear la manera en que los loretanos están utilizando el agua en sus residencias y comercios. El modo más eficaz de hacerlo es mediante la instalación de medidores (los cuales también pueden proporcionar un medio para controlar el consumo del líquido, tal como se describe más adelante) para todos los usuarios finales, sean industriales, comerciales o residenciales. En la actualidad, tan sólo 37% de los usuarios finales del sistema de distribución de agua cuentan con medidores instalados (Quintero 2006). Si se aumenta el número de éstos, será posible mejorar la comprensión general del sistema de agua y de cómo está distribuida la demanda actual del recurso. Mientras se va avanzando con el programa de medidores, se puede obtener datos preliminares mediante la utilización de encuestas a los usuarios. Con frecuencia, tales encuestas pueden revelar las preferencias implícitas de consumo de agua de los usuarios y aquellos hábitos que pudieran conducir a desperdicios. Esto dará una primera visión sobre los tipos de modificaciones de comportamiento que puedan ser necesarias a nivel de la comunidad para lograr un ahorro real mediante la conservación.

Además de tales esfuerzos por cuantificar y entender el actual consumo de agua, los proveedores de la misma (principalmente el SAPAL en la región de Loreto) y los gobiernos locales también pueden unirse para limitar el uso del agua en el futuro con una combinación de educación pública, modificaciones institucionales e incentivos económicos. A continuación se mencionan algunos ejemplos de programas de ese tipo que han tenido éxito en otras comunidades:

- Proporcionar instrucción pertinente en las escuelas públicas acerca del valor de la conservación del agua. Conforme va creciendo la población, los integrantes de la siguiente generación se vuelven tomadores de decisiones y, automáticamente, se alteran las políticas en materia de agua en el futuro.
- Educar al público en general mediante anuncios de servicio público y comerciales en toda la región.
- Ofrecer incentivos económicos para el público cuando éste es responsable de identificar y reparar fugas en propiedades privadas.
- Aplicar límites y tarifas para actividades derrochadoras tales como el lavado de cocheras y banquetas en vez de barrerlas, el riego de los céspedes durante el día, etc.
- Instituir programas de incentivos económicos para cuentas de tipo comercial, industrial e institucional para que dichos usuarios participen en la conservación y la promuevan en sus prácticas cotidianas.
- Obligar a los proveedores de agua a asignar a un miembro de su personal como coordinador de conservación del agua para que se centralicen los esfuerzos de conservación, haciendo que el programa sea más eficiente y más accesible para el público.
- Establecer incentivos económicos que se ofrecen mediante un sistema de tarifas escalonadas: los clientes que consumen menos agua son premiados con precios más bajos.
- Obligar a los proveedores de agua a realizarles auditorías a sus clientes residenciales y hacerles tomar conciencia de su consumo de agua y de la posibilidad de que reciban incentivos o disfruten de menores costos en el consumo del recurso.
- Exigir que en la jardinería y arquitectura paisajística de espacios públicos y de espacios privados de gran escala se utilicen plantas resistentes a la sequía que sean nativas de la región, de modo que no sea necesario el riego suplementario.
- Ofrecer incentivos para modernizar los aparatos electrodomésticos a fin de que tengan menores demandas de agua, tales como las lavadoras de alta eficiencia, las cabezas de regadera de menor gasto o los inodoros que tienen flujos ultrabajos.

5.2 Inversiones en la infraestructura existente

Basado en las actuales condiciones de la infraestructura de agua potable en la región de Loreto, existe una oportunidad para captar el agua que se pierde mediante fugas e ineficiencias en todo el sistema. Es posible que la reparación de dicha infraestructura permita que los actuales recursos hídricos atiendan a un mayor porcentaje de la creciente demanda de agua. Es necesario cuantificar el volumen estimado de agua perdida dentro del sistema (en la actualidad, el SAPAL ha calculado dicho volumen en 30% a 40%); por otra parte, se debe estimar las inversiones de capital relacionadas con la reparación del sistema. Entre los métodos para identificar fugas y estimar el volumen de agua perdido y los costos de reparación, están los siguientes: instalar medidores para usuarios y calibrarlos en forma periódica, realizar pruebas de presión, y elaborar modelos computacionales del sistema de distribución.

Es preciso llevar a cabo una evaluación de la infraestructura en el sistema de agua en Loreto, que ya tiene 40 años, así como determinar las necesidades específicas para la construcción de infraestructura nueva y la reparación y reconstrucción de la ya existente, a fin de contrarrestar la necesidad de desarrollar recursos hídricos adicionales. Se debe realizar dicho esfuerzo, independientemente del desarrollo de nuevos recursos hídricos en Loreto, porque una vez que se disponga de recursos adicionales, con la infraestructura tal como existe hoy en día una parte significativa de dichas reservas aún se perderá. La inversión de capital relativamente pequeña que se necesita para valorar el costo de reparar la infraestructura existente y de ampliar las actuales reservas de agua debe proporcionar opciones razonables y necesarias antes de que se desarrolle un recurso hídrico adicional, como por ejemplo la desalinización.

5.3 Expansión de los recursos existentes

Aparte de reducir el consumo del agua a través de la conservación y de limitar las pérdidas de agua con la reparación de la infraestructura, puede ser posible ampliar las reservas actuales de agua en Loreto mediante las siguientes acciones:

- Identificar mejores opciones para la recarga y ubicaciones con el propósito de ampliar los pozos existentes dentro del sistema del Acuífero de San Juan Londó;
- Investigar el potencial para reemplazar parte del agua ya existente que se utiliza para riego de jardines y campos de golf, así como para otros usos no potables, con agua recuperada.
- Determinar si la actual contaminación de aguas subterráneas alrededor de los pozos viejos en la cuenca de aguas subterráneas de Loreto puede ser corregida de manera eficaz.

Para mejorar la recarga, se necesitaría extender los estudios ya realizados sobre el sistema del Acuífero de San Juan Londó. El desarrollo de recursos hídricos reciclados requeriría invertir en las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes en la región. Pueden ser muy costosas las mejoras requeridas para elevar el tratamiento hasta niveles adecuados para el reciclaje de aguas residuales e instalar el consiguiente sistema de distribución de las aguas tratadas. Sin embargo, podrían proporcionar un beneficio adicional al reducir las descargas de dichas aguas en el Parque Marino. A fin de determinar el potencial para la remediación de los pozos existentes en Loreto, se necesitaría realizar pruebas en ellos y además evaluar la razón porque la operación de los pozos fue suspendida hace aproximadamente 20 años.

5.4 Fuentes alternativas de agua: Desalinización

La construcción y operación de una planta desaladora requiere de estudios de factibilidad, así como decisiones relativas a los componentes del sistema. En las siguientes secciones, proporcionaremos información básica acerca de las tecnologías de desalinización existentes, describiremos la infraestructura e instalaciones de apoyo que se necesitan para operar una planta desaladora y, por último, identificaremos las opciones más responsables desde un punto de vista financiero y ambiental para la implementación de un programa de desalinización.

5.4.1 Aplicación histórica y actual

La desalinización es el proceso de eliminar sólidos disueltos o sales del agua, ya sea en un medio de agua salobre o de agua de mar. A lo largo de su historia, la desalinización ha sido utilizada para producir agua que satisfaga la demanda de agua procesada ultrapura para usos industriales. Las centrales eléctricas y procesos manufactureros que requieren de vapor utilizan la tecnología de desalinización para hacer frente a problemas de incrustaciones, corrosión y eficiencia del vapor. La desalinización del agua de mar en la costa tiene el beneficio de una oferta ilimitada de agua y una fuente accesible para el enfriamiento.

En el pasado, en la desalinización efectuada para propósitos industriales normalmente se utilizaban procesos térmicos, que a lo largo del tiempo han resultado ser ineficientes y de un gran consumo de energía. Con el desarrollo y perfeccionamiento de tecnologías más recientes para la desalinización, tales como la Osmosis Inversa (OI), se ha vuelto más viable producir agua potable a nivel municipal mediante la desalinización. A continuación se presentan los conceptos técnicos básicos referentes a los procesos de desalinización.

5.4.2 Instalaciones para la toma de agua

Se puede adquirir agua para utilizar como insumo en la desalinización de muchas maneras. El agua insumo generalmente es agua de mar, o bien, agua subterránea salobre. A continuación se describen los métodos usados actualmente para obtener y transportar el agua insumo.

Asuntos generales: Cuestiones de ubicación, costos y medio ambiente

Las instalaciones para la desalinización de agua de mar requieren de un sistema de toma capaz de proporcionar una cantidad accesible y confiable de agua de mar limpia con un mínimo impacto ecológico. A fin de alcanzar esos objetivos, es esencial realizar una evaluación exhaustiva de las condiciones en el sitio escogido. Es necesario valorar las características físicas, las condiciones oceanográficas, la biología marina y los efectos potenciales del ensuciamiento, la contaminación y la navegación. Los diseños para la toma de agua dependen enormemente de las características del sitio en cuestión,

potencialmente más que cualquier otro elemento de la planta desaladora. Pueden representar hasta 20% del costo de capital de toda la planta (Pankratz 2004).

Es importante considerar el atrapamiento accidental de la vida marina por las obras para la toma de agua de mar y el arrastre de la misma por el agua, incluyendo limitaciones difíciles de cuantificar que puedan representar el impacto adverso directo más significativo sobre el medio ambiente atribuible a la desalinización de agua de mar. Las tecnologías para las obras de toma de agua de mar van desde tomas superficiales de gran tamaño a lo largo de la costa, hasta estructuras para la toma cercanas a la misma y pozos con filtros de rejilla en tierra firme. Cada tecnología plantea retos distintos por su forma de diseño, consumo de energía y consideraciones ambientales. No obstante, en el diseño de tomas abiertas de agua de mar, la mayor preocupación ambiental consiste en el impacto sobre la vida marina en cuanto al atrapamiento y arrastre.

El atrapamiento de la vida marina, que se da cuando formas más grandes de ésta quedan atrapadas en las rejillas o se lanzan accidentalmente contra ellas, es un fenómeno relativamente fácil de mitigar mediante la utilización de las tecnologías disponibles. Sin embargo, es mucho más difícil controlar el arrastre de la vida marina por el agua, puesto que se trata de organismos muy pequeños e incluso microscópicos (tales como el fitoplancton, zooplancton, huevecillos y larvas) que son jalados a través de la rejilla y entran a la toma. Eso puede dar lugar a una disminución en el reclutamiento de esas especies en el hábitat local, así como a una reducción de la productividad global del ecosistema, afectando de manera adversa las oportunidades para la pesca comercial y deportiva en la región (López et al. 2006).

Tomas abiertas de agua de mar

Las tomas abiertas extraen el agua del océano o del mar y pueden diseñarse en diferentes tamaños, lo cual da lugar a capacidades ilimitadas. Cuando se diseña una toma de ese tipo, la mayor preocupación consta de evitar que la vida marina y los residuos entren al sistema de desalinización, no solamente por el impacto sobre la vida marina, sino también porque –tal como se describe más adelante– eso puede ensuciar las membranas de desalinización. A continuación se enumeran las tres principales tecnologías empleadas en la actualidad para hacer frente a esos problemas asociados con la extracción directa.

- *Filtros de agua móviles* – consisten en paneles grandes de malla de alambre que se emplean para evitar la entrada de residuos u organismos marinos. Dichos paneles son rotatorios, lo cual permite su lavado; pueden colocarse directamente en la costa o al final de un canal largo, tubería de toma o depósito regulador que se extiende más allá de la zona de olas.
- *Tapas reductoras de velocidad* – consisten en una toma fuera de la costa, en forma de “T”, que convierte el flujo vertical en uno horizontal, a fin de reducir el atrapamiento accidental de los peces y el arrastre de los mismos por el sistema.
- *Tomas con filtros de rejilla sin lavado mecánico* – utilizan rejillas ranuradas alineadas sobre un eje horizontal, donde con la toma final se extrae el agua en un eje vertical, tal como se muestra en la Figura 2. A menudo las tomas con filtros de rejilla son construidas con tuberías mucho más grandes que las de la toma final, a fin de reducir las velocidades de flujo.



Figura 2. Toma con filtros de rejilla sin lavado mecánico (Fotografía cortesía de Euroslot Industry)

Tomas subsuperficiales

Las tomas subsuperficiales emplean los conceptos de la extracción de aguas subterráneas en un ambiente costero. Ya que atraen el agua a través de lechos de arena saturada u otros estratos subterráneos permeables, por lo general tienen un impacto nulo o insignificante sobre la vida marina local y pueden proporcionar una fuente de agua prefiltrada para el proceso de desalinización. Por esa razón, especialmente en ambientes marinos sensibles como el de Loreto, se utilizan pozos poco profundos en lugares en que

las consideraciones de costos y las condiciones geológicas los permitan. Dado que dichos pozos dependen de la permeabilidad y estabilidad de los materiales subsuperficiales, así como de la confiabilidad de la fuente de agua subterránea subyacente, todos requieren de una minuciosa evaluación geotécnica antes de su construcción. A continuación se describen los tres principales tipos de tomas subsuperficiales.

- *Pozos playeros de agua de mar* – Un pozo playero típico consiste en un tubo perforado para la captación que se extiende costa afuera abajo del fondo marino, tal como se puede apreciar en la Figura 3. Estos sistemas normalmente pueden abastecer a las plantas desaladoras con una capacidad de aproximadamente 19,000 m³/día o menos (Pankratz 2004). Actualmente, Loreto consume unos 8,327 m³/día. Así que, sin implementar las medidas anteriormente descritas en términos de conservación e mejoras a la infraestructura, la cantidad de 19,000 m³/día atendería la demanda de aproximadamente 36,000 loretanos.

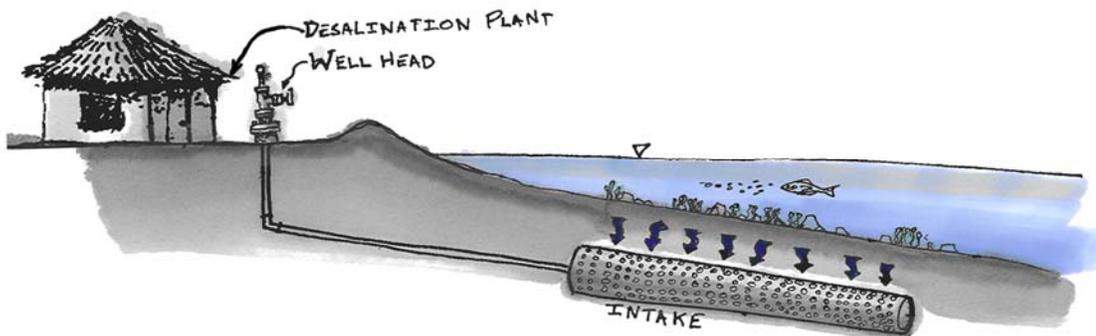


Figura 3. Diagrama de pozo playero de agua de mar

Intake = Toma

Well head = Boca del pozo

Desalination plant = Planta desaladora

- *Pozos radiales poco profundos* – Este diseño incluye un depósito colector o cajón hidráulico del pozo de gran capacidad conectado a una serie de pozos horizontales ubicados a lo largo del fondo marino (véase la Figura 4). Por lo general, las capacidades de toma de este tipo de pozo poco profundo son altas. Es probable que un solo cajón hidráulico pueda atender la demanda de agua de la actual población de Loreto. Las tasas de producción reales dependen del número de

Figura 4. Ilustración de pozo horizontal radial

5.4.3 Tecnologías de proceso

No hay una tecnología de desalinización en particular que se pueda considerar como panacea para la producción de agua potable. La mayoría de las tecnologías utilizan procesos térmicos o de membrana, pero ya existen otras tecnologías, en tanto que se están desarrollando muchas más. Es preciso seleccionar las tecnologías de desalinización con base en las condiciones específicas del sitio, incluyendo el contenido de sal, la accesibilidad de servicios de ingeniería y de construcción, y la calidad del agua requerida por el usuario final. Con frecuencia, los requerimientos de mantenimiento de una tecnología específica determinarán el tipo de sistema que se escoja para las plantas desaladoras.

Tendencias tecnológicas

Las actuales tendencias en cuanto a aplicaciones de desalinización dependen de las características específicas del agua bruta, la disponibilidad de energía, la fecha en que la planta desaladora fue instalada y el uso final del agua producto. Antes del desarrollo de los procesos de membrana, la desalinización se efectuaba principalmente por medio de diferentes variaciones de tecnologías de destilación térmica (entre las cuales se incluyen la evaporación instantánea multietápica y la destilación de efectos múltiples). No obstante, para el año 2000, los procesos de membrana ya se utilizaban en el 79% de las 13,600 plantas desaladoras que operaban en todo el mundo (Glueckstern 2004). La preferencia por los sistemas de membrana –y específicamente por la osmosis inversa (OI)– en comparación con otras técnicas se debe, en parte, al desarrollo en décadas recientes de membranas con tasas más altas de recuperación y requerimientos menores de presión; por ende, su operación es más eficiente. Más adelante, en la Figura 5 se muestra la aplicación de diferentes tecnologías de desalinización a nivel mundial respecto al volumen total de agua producto que se produce.

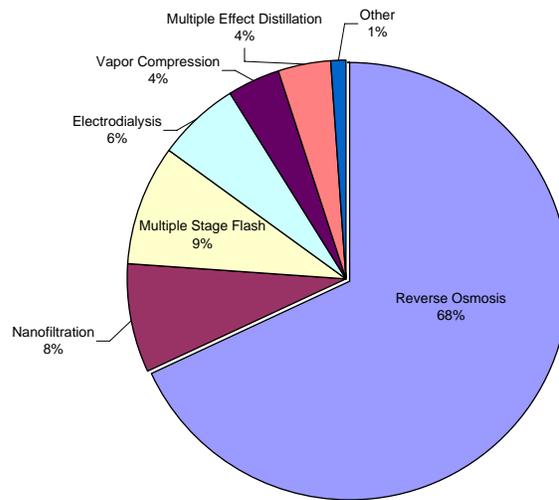


Figura 5. Capacidad tecnológica para la desalinización a nivel mundial (Glueckstern 2004)

Other = Otras, Multiple effect distillation = Destilación de efectos múltiples, Vapor compression = Compresión de vapor
 Electrolysis = Electrodiálisis, Multiple stage flash evaporation = Evaporación instantánea multietápica, Nanofiltration = Nanofiltración,
 Reverse osmosis = Osmosis inversa

El agua bruta para alimentar la planta desaladora varía de una región a otra según el acceso al mar, las reservas de agua subterránea salobre, la habilidad del proveedor de agua para producir (y la aceptación por parte del público de utilizar) aguas residuales recicladas y la tecnología disponible en la ubicación específica que se escogió. Por ejemplo, a nivel mundial, el 56% del agua bruta para los procesos de desalinización es agua de mar, mientras que en el Estado de California en E.U. dicha agua representa tan sólo el 17% del agua bruta para la desalinización, principalmente porque están fácilmente disponibles grandes cantidades de agua salobre (Cooley et al. 2006). Nótese que en este estudio, no se ha considerado la utilización de aguas residuales tratadas como agua bruta para alimentar la desalinización, puesto que el agua de ese tipo todavía no ha sido aceptada por el público como una fuente de agua potable.

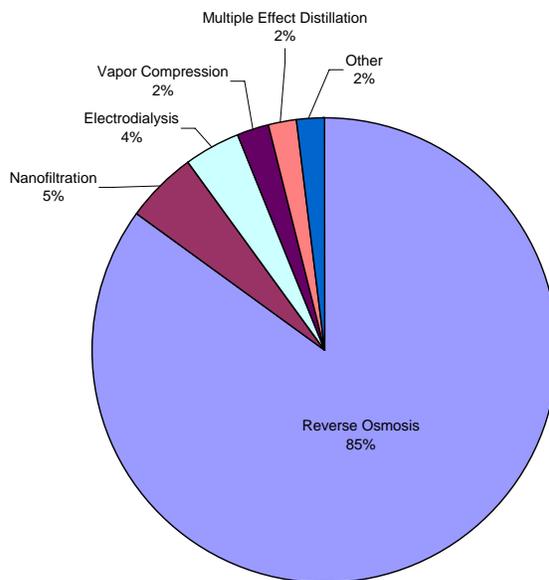


Figura 6. Capacidad tecnológica para la desalinización en California (Cooley et al. 2006)

Other = Otras, Multiple effect distillation = Destilación de efectos múltiples, Vapor compression = Compresión de vapor, Electrolysis = Electrodiálisis, Nanofiltration = Nanofiltración, Reverse osmosis = Osmosis inversa

En California, el predominio de la OI es aun más significativo, tal como se puede ver en la Figura 6. La mayor parte de la desalinización ocurre en el sur del estado, que exhibe patrones climáticos y de consumo de agua similares a los de Loreto. Asimismo, en Cabo San Lucas aproximadamente una docena de plantas desaladoras ya están funcionando, y en todas se emplea la tecnología de OI. En consecuencia, se espera que la OI sea la tecnología más apropiada para las plantas desaladoras que se desarrollen en la región de Loreto. A continuación presentaremos descripciones breves de tecnologías alternativas disponibles en la actualidad, así como de otras que se están desarrollando; pero es probable que, debido a las demandas de energía, los requerimientos técnicos y/o las incertidumbres asociadas con historiales de rendimiento no comprobados, estas tecnologías no sean apropiadas para su aplicación en la región de Loreto.

Tecnologías térmicas

Antes del desarrollo de las tecnologías de OI y de nanofiltración (NF), la mayoría de las actividades de desalinización estaban basadas en tecnologías térmicas. El principio

fundamental de los procesos térmicos consiste en calentar el agua más allá o cerca de su punto de ebullición, recolectar el vapor y enfriarlo para producir un recurso de agua limpia. Las tecnologías térmicas tienden a consumir energía en forma más intensiva y ser menos eficientes que otros procesos, pero son adecuadas para aplicaciones que generalmente no incluyen al suministro de agua municipal. Los dos tipos más importantes de tecnologías térmicas son la Evaporación Instantánea Multietápica (EIM) y la Destilación de Efectos Múltiples (DEM). El evaporador de EIM produce agua destilada a partir del agua de alimentación al calentarla hasta que esté a punto de evaporarse. Se lleva el vapor hasta un sitio en que se condensa y se recolecta como agua limpia. DEM es una tecnología más antigua que emplea una serie de cámaras de intercambio de calor donde el vapor se condensa para destilar el agua. Puesto que consumen una gran cantidad de energía por litro de agua producto, esas tecnologías rara vez son utilizadas para producir una oferta de agua potable a nivel municipal. No obstante, todavía se usan procesos térmicos en industrias que requieren de un suministro de agua muy pura, pues pueden producir agua con un contenido de sal mucho menor que los sistemas de membrana, normalmente de menos de 25 ppm en promedio (U.S. Bureau of Reclamation 2003). Las concentraciones de sólidos disueltos totales (SDT) de alrededor de 500 ppm normalmente son aceptables para el agua potable, de modo que las eficiencias adicionales de eliminación de sales ofrecidas por los procesos térmicos no justificarían los mayores costos de operación para ampliar el suministro de agua potable en Loreto.

Tecnologías mecánicas

Aparte de los procesos térmicos, se ha recurrido a procesos mecánicos para desalinizar el agua de mar. De éstos, el más común es la compresión de vapor (CV). CV es un proceso en que se utiliza la energía mecánica para comprimir el vapor, cuya temperatura aumenta y, al final, se destila el agua. Con frecuencia, la tecnología de CV se usa en combinación con las tecnologías térmicas para incrementar las eficiencias en el proceso térmico. A menudo se emplea la CV mecánica en áreas remotas para aplicaciones pequeñas, tales como lugares de vacaciones o procesos industriales pequeños. Es poco probable que la tecnología de CV sea una elección idónea para plantas desaladoras en la región de

Loreto, ya que sus costos de operación generalmente son más altos que la OI y Loreto no se considera un sitio remoto.

Electrodiálisis (ED)

En la desalinización por electrodiálisis (ED), se pasa una corriente eléctrica directa a través del agua salobre para separar las sales y los minerales disueltos en iones positivos y negativos. Posteriormente, éstos son colados por una de dos membranas semipermeables que solamente permiten el paso de iones positivos o negativos, dejando al otro lado el agua desalada. En tanto que la ED es eficaz con el agua salobre, esta tecnología aún está siendo perfeccionada para su utilización en la desalinización de agua de mar. Por lo regular, la ED no es costo-efectiva en cuanto a la eliminación de concentraciones salinas mayores de 4,000 mg/l (el agua de mar del Océano Pacífico tiene, en promedio, 35,000 mg/l). De esta manera, a menos que se puedan encontrar fuentes apropiadas de agua salobre de baja salinidad, es poco probable que la ED sea una elección adecuada para una planta desaladora en Loreto.

Tecnologías potenciales

En un intento de reducir los costos de energía y de minimizar los problemas de eliminación de la salmuera, se están desarrollando varias tecnologías más para la desalinización de agua de mar y agua salobre. A continuación se enumeran tecnologías notables que son apropiadas para la desalinización de agua de mar, si bien todavía no están perfeccionadas para el uso a gran escala.

- *Separación por congelación* – El agua bruta es congelada para separar los cristales de hielo de los de sal;
- *Intercambio de iones* – Se pasa el agua bruta a través de columnas de resinas que quitan los iones no deseables, basado en la preferencia de la resina en cuestión por ciertos iones;
- *Destilación con membranas* – Aquí se combinan los conceptos de los procesos térmicos y de membrana para eliminar las sales;
- *Evaporación por rocío rápido* – Se rocía el agua bruta a alta velocidad a través de boquillas vaporizadoras para separar las sales del agua, y
- *Congelación con hidratos* – Una mezcla de vapor/gas de agua de mar se enfría y posteriormente los hidratos que se forman son separados de la salmuera.

Procesos de membrana – Osmosis Inversa y Nanofiltración

La Osmosis Inversa (OI) y la Nanofiltración (NF) son procesos de membrana similares, impulsados por presión, que se utilizan en la desalinización de agua. Las membranas de NF generalmente funcionan a presiones menores que las de OI y por lo regular son usadas para aplicaciones de agua salobre. Las membranas de OI son empleadas normalmente en la desalinización de agua de mar debido a su mayor capacidad para rechazar la sal en comparación con las de NF. Los principios fundamentales de ambas tecnologías consisten en separar la sal del agua cuando el agua de alimentación entra en contacto con una membrana a presiones altas. Esencialmente, el proceso de osmosis es a la inversa, o al revés, porque el agua pasa por una membrana semipermeable y las sales se quedan en el lado en que entró el agua bruta (Figura 7). El agua que pasa por la membrana es ultrapura, mientras que la concentración de sales en el agua restante

aumenta. El agua altamente salina se convierte en la corriente de residuos, o “salmuera” y posteriormente es descargada, en tanto que el agua producto se recolecta para ser usada.



Figura 7. Proceso de la osmosis inversa (Cortesía de RBF Consulting)

Saline water = Agua salada, Membrane = Membrana, Fresh water = Agua limpia, Concentrate = Concentrado, Reverse osmosis = Osmosis inversa

La tecnología de Osmosis Inversa está experimentando un crecimiento acelerado gracias a los extensos esfuerzos realizados en el ámbito de investigación y desarrollo en años recientes. La intensa competencia que se ha dado entre varios fabricantes de membranas ha suscitado gran parte de esas investigaciones. A lo largo de los últimos 15 años, la experiencia operativa con tecnologías de osmosis inversa ha mejorado; así, un menor número de plantas han sufrido problemas operativos de largo plazo. Suponiendo que se instala una unidad que haya sido diseñada y construida adecuadamente, los principales elementos operativos que se relacionan con el empleo de tecnologías de Oi serán el monitoreo diario del sistema y un programa sistemático de mantenimiento preventivo. Tanto la operación como el mantenimiento y monitoreo de plantas con Oi requieren de personal capacitado en el campo de la ingeniería. Los requerimientos de personal son de aproximadamente una persona para una planta que produce 200 m³/día,

y aumentan a tres personas cuando se trata de una planta cuya producción es de 4,000 m³/día.

La cantidad de agua desalada que puede recuperarse de agua salina varía entre 30% y 85% del volumen del agua de alimentación, dependiendo de la calidad inicial del agua, la cantidad del agua producto que se necesite, y la tecnología y membranas que se utilicen (Cooley et al. 2006). Actualmente, las plantas desaladoras suelen definirse como pequeñas si producen menos de 3,700 m³/día; de tamaño mediano si la producción varía entre 3,700 y 37,000 m³/día, y grandes si producen más de 37,000 m³/día. Sin embargo, el tamaño físico de una planta desaladora grande que utiliza osmosis inversa es pequeño en comparación con cualquiera que emplee tecnologías térmicas, que normalmente requiere de una caldera, instalaciones para la generación de energía y un terreno bastante grande. En el cuadro 2 se indican las superficies que se necesitan para diferentes tipos de plantas desaladoras.

Agua bruta/Tecnología	Volumen producido en la planta	Población atendida	Superficie
Agua de mar/OI	1,100m ³ / day ^a	2,000	0.02 Hectare
Agua de mar/Térmica	17,000 m ³ /day ^b	33,000	3.03 Hectare
Agua de mar/OI	272,500 m ³ /day ^c	530,000	7.432 Hectare
Agua salobre/OI	7,570 m ³ /day ^d	15,000	0.068 Hectare

Cuadro 2. Requerimientos de superficie para plantas de desalinización

^a Durban, James 2006. ^b Water Desalination International 1998. ^c SPG Media 2006.

^d SGP Media 2006.

Tal como se notó anteriormente, las membranas de nanofiltración (NF) generalmente no son idóneas para la desalinización de agua de mar, pero sí pueden funcionar como una alternativa costo-efectiva para la OI si existen condiciones de agua salobre. Los principios esenciales de la NF son los mismos que en el caso de la OI. Empero, las membranas de NF tienen una menor capacidad de rechazo de sal que las de OI. Los costos de operación son menores, principalmente porque las membranas de NF

requieren de presiones de operación más bajas. Entonces, si existen condiciones ideales en cuanto al agua bruta, la NF generalmente es preferible a la OI.

Si bien los avances significativos en las tecnologías han extendido la vida de las membranas y también han reducido los requerimientos de energía, el consumo global de ésta sigue siendo sumamente alto porque las membranas de OI requieren de presiones muy altas. Uno de los avances tecnológicos más importantes en años recientes fue el desarrollo, por parte del Departamento de Agua de Long Beach, California, E.U., de un proceso de nanofiltración en dos etapas, también llamado el Método de Long Beach. En términos de energía, dicho método ha resultado ser más eficiente en un 20% a 30% que la OI, la cual constituye la tecnología de punta utilizada actualmente (Long Beach Water Department 2006). La tecnología del Método de Long Beach no se está aplicando todavía en un servicio municipal de agua potable, pero es un indicio prometedor de que se darán mayores avances en las tecnologías de desalinización en el futuro.

5.4.4 Pretratamiento y mantenimiento general

El pretratamiento constituye un componente importante de los sistemas de desalinización, especialmente en cuanto a la aplicación de procesos de membrana. Durante el pretratamiento, se prepara el agua bruta para el proceso de desalinización. Los procesos térmicos de desalinización requieren de la filtración y, ocasionalmente, de tratamientos químicos, pero no necesitan el mismo nivel de pretratamiento que las membranas de OI. Con la incorporación de tomas subsuperficiales y de la tecnología más apropiada para hacer frente a las condiciones del agua bruta en términos de su calidad antes de la desalinización, se puede reducir esos costos enormemente. Todas las plantas desaladoras requieren de mantenimiento preventivo, incluyendo lo siguiente: calibración de instrumentos, ajustes de las bombas, inspección y ajuste de la alimentación de sustancias químicas, detección y reparación de fugas, y reparación estructural del sistema según un calendario programado.

Dependiendo de la composición química del agua de alimentación, así como del método utilizado para la toma y conducción del agua hacia la planta desaladora, el pretratamiento para las plantas de OI puede representar hasta 50% del costo total de sus operaciones (Pankratz 2004). Las membranas de OI pueden ensuciarse fácilmente debido a la presencia de partículas, la formación de incrustaciones y el crecimiento biológico. Las

incrustaciones se forman mediante el depósito de minerales –causado por sales parcialmente insolubles en el agua bruta– en los materiales de conducción y membranas, lo cual puede reducir la eficiencia del proceso y ensuciar las membranas. Dichas sales se precipitan de las soluciones y se acumulan en las membranas, causando la degradación de éstas, que con frecuencia quedan inservibles. Para disminuir esos efectos, en las plantas de desalinización que emplean membranas se utiliza la filtración de residuos en la forma de partículas grandes y, además, se agregan productos químicos antiincrustantes y/o se emplea una tecnología de filtración más refinada, como la microfiltración o ultrafiltración.

La microfiltración generalmente elimina partículas mayores a 10 micrones ($10\ \mu\text{m}$ o un millonésimo de un metro), mientras que la ultrafiltración elimina partículas mayores a $0.1\ \mu\text{m}$; ambos procesos de filtración son impulsados por la presión. Para evitar el crecimiento biológico y la formación de incrustaciones, es posible emplear la ultrafiltración en vez de agregar sustancias químicas. Si no se utiliza la ultrafiltración, se agregan productos químicos tales como ácidos para reducir los efectos de la incrustación. Desafortunadamente, la adición de productos químicos antiincrustantes puede causar un aumento en el crecimiento biológico sobre las membranas, lo cual resulta en el atascamiento, una menor eficiencia, mayores costos de operación e incluso, potencialmente, la destrucción de la membrana misma. El grado de ensuciamiento biológico que ocurra depende de múltiples factores, tales como la cantidad de luz solar, el tipo y la cantidad de productos antiincrustantes que son empleados, el pH del agua de alimentación y la cantidad de algas presentes en el agua bruta. Se necesita un pretratamiento adicional para reducir el ensuciamiento biológico. Pero no es posible desinfectar las membranas con cloro.

En muchos casos, los productos químicos utilizados en el pretratamiento son eliminados y descargados en la corriente de desechos, junto con la salmuera. En la región de Loreto, eso podría plantear un problema debido a la presencia del Parque Nacional Marino Bahía de Loreto. Posiblemente se necesiten esfuerzos de mitigación adicionales, o bien, tecnologías de pretratamiento avanzadas, tales como la ultrafiltración, a fin de evitar la contaminación del Parque Nacional Marino Bahía de Loreto o de otros ecosistemas frágiles en esta región.

5.4.5 Consumo de energía

La mayoría de los sistemas para el tratamiento de agua a gran escala requieren de energía eléctrica para funcionar. A diferencia de otros métodos para el tratamiento de agua, los procesos de desalinización tienen requerimientos de energía significativamente más altos. Gracias al desarrollo de la tecnología de Osmosis Inversa (OI), la desalinización ha llegado a ser viable para el abastecimiento de agua a nivel municipal, principalmente gracias a la mayor eficiencia que esta tecnología ofrece en comparación con otros sistemas. Las tecnologías térmicas consumen grandes cantidades de energía e incluso la EIM –la más eficiente de dichas tecnologías– utiliza significativamente más energía que la OI para desalinizar el agua de mar común y corriente (Wangnick 2004). En el Cuadro 3 se presenta una gama de valores de consumo de energía asociado con los sistemas de OI que ya fueron publicados. Es posible determinar los costos correspondientes de suministrar energía a las plantas de desalinización por OI si se aplican estos valores a las tarifas comerciales de energía eléctrica existentes y previstas.

Sistema de OI	Energía consumida
Mínimo teórico ^a	0.8 kWhr/ m ³
Agua de mar típica del Pacífico ^b	3.9 kWhr/ m ³
Con recuperación de energía ^c	1.6 kWhr/ m ³

Cuadro 3. Consumo de energía eléctrica con la osmosis inversa

^a Cooley et al. 2006. ^b Marin Municipal Water District 2006. ^c Energy Recovery, Inc. 2006.

El consumo de energía eléctrica puede representar hasta 44% del costo del agua que es producto de un sistema de OI. De esta manera, cualquier ganancia en términos de eficiencia energética puede reducir el costo del agua para el usuario final (Cooley et al. 2006). Con los sistemas de recuperación de energía, se puede aumentar la eficiencia de una planta de OI hasta en un 57%. Algunas de las tecnologías existentes para la recuperación de energía son las turbinas y los intercambiadores de presión para el tratamiento de aguas residuales. Ambos sistemas funcionan mediante la recaptura de una porción de la energía utilizada en el proceso de OI al aprovechar la presión de las aguas residuales (salmuera) y transferirla a los requerimientos del insumo energético de la

corriente de agua producto. A continuación, en la Figura 8, se ilustra el proceso general de un sistema de intercambio de presión.

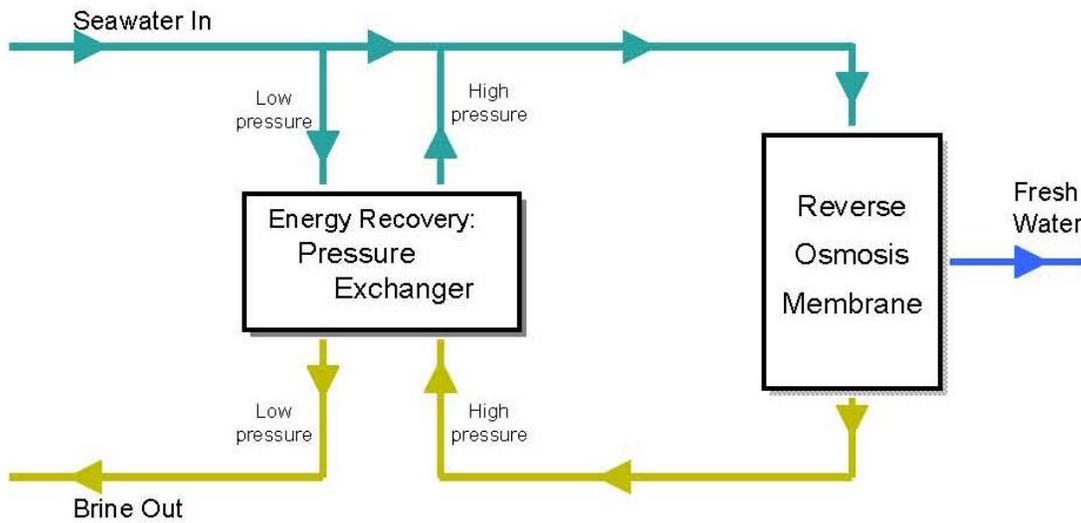


Figura 8. Diagrama de un intercambiador de presión

Seawater in = Entrada de agua de mar, Low pressure = Presión baja, High pressure = Presión alta, Energy recovery: Pressure exchanger = Recuperación de energía: Intercambiador de presión, Brine out = Salida de salmuera, Reverse osmosis membrane = Membrana de osmosis inversa, Fresh water = Agua potable

Los intercambiadores de presión han sido utilizados con éxito en el proceso de osmosis inversa para reducir las demandas de energía. Esta tecnología todavía se está desarrollando y muchos fabricantes anuncian que sus productos tienen niveles altos de recuperación. Con los sistemas de recuperación de energía, los fabricantes han podido operar sistemas de OI que consumen 1.6 kWh/m^3 (Energy Recovery, Inc. 2006). Eso representa menos de la mitad del consumo de energía requerido normalmente para desalar agua de mar del Océano Pacífico y se acerca al valor energético teórico de 0.8 kWh/m^3 .

5.4.6 Agua producto y aguas residuales

Por medio del proceso de desalinización, se produce una corriente producto y una corriente de desechos. En una aplicación municipal, la corriente producto generalmente consiste en agua potable, mientras que se refiere a la corriente de desechos como salmuera o agua salada concentrada. A menudo al evaluar los procesos de desalinización, se considera el porcentaje de recuperación, es decir, la cantidad de agua potable producida respecto a la cantidad de salmuera que se genera. Típicamente, la relación entre el agua producto y la salmuera es de 40%-60%.

5.4.7 Agua producto

Por lo regular, la calidad del agua desalada es alta, dependiendo del agua de alimentación y de la tecnología empleada. No obstante, las tecnologías de membrana alteran el pH del agua producto de manera significativa. Por eso es recomendable someter dicha agua a un tratamiento adicional antes de distribuirla. Se hace lo anterior, más que nada, para evitar la corrosión de la infraestructura de distribución, pero también con el propósito de asegurar la calidad estética del agua. Posteriormente, el agua producto es conducida hasta un tanque de retención, donde se limpia o se trata con cloro antes de su distribución final. Si el agua producto se trata apropiadamente para evitar la corrosión, el tratamiento adicional requerido que se describió anteriormente será el mismo que el que el proveedor de agua utilice para limpiar o tratar el agua de otras fuentes de producción, como por ejemplo el agua de pozo.

5.4.8 Salmuera

La evacuación de la salmuera puede efectuarse de varias maneras, pero la más común es la descarga al mar o a corrientes de agua superficiales. Este método constituye una forma de dilución basada en el volumen de la descarga relativo al del cuerpo de agua receptor. Se puede lograr la evacuación hacia corrientes de agua superficiales directamente, al verter la salmuera a un cuerpo de agua, instalando controles de ingeniería tales como dispositivos difusores en el punto de descarga o bien, mezclando la salmuera con otras corrientes de desechos menos salinas antes de su descarga final. En la actualidad, 48% de todas las plantas desaladoras de Estados Unidos vierten su salmuera en aguas superficiales, en tanto que 40% de ellas la descargan a alcantarillas para que sea

mezclada y tratada con aguas residuales (U.S. Bureau of Reclamation 2003). Hoy en día, dicho método de evacuación de la salmuera es el más fácil de diseñar y la opción disponible menos costosa para las plantas desaladoras. Pero, por desgracia, tiene costos muy elevados para el medio ambiente. Entre los otros métodos para la evacuación de la salmuera están la utilización de lagunas de evaporación, la inyección a acuíferos confinados vía pozos, la descarga a corrientes salinas que desembocan en estuarios, el transporte hacia instalaciones locales para el tratamiento de aguas residuales vía alcantarillas sanitarias o la inyección a acuíferos salinos vía pozos de agua de mar.

Uno de los problemas más importantes en el ámbito de la desalinización es el encontrar opciones ambientalmente sensibles para la evacuación de la salmuera. Puede sugerirse que el próximo paso en la evolución y desarrollo de tecnologías de desalinización consistirá en reducir la cantidad de salmuera o hallar el modo de aprovecharla. A continuación se ofrecen breves descripciones de los métodos disponibles en la actualidad para la evacuación de la salmuera:

- Lagunas de evaporación – La salmuera se distribuye en lagunas someras, donde se evapora gradualmente. Después, los residuos sólidos que quedan son vertidos en un relleno sanitario o se recolectan para ser reutilizados.
- Inyección a pozos profundos – Se inyecta la salmuera, vía pozos, a sistemas de acuíferos confinados de agua no potable o bien, a acuíferos salobres que ocurren en las costas.
- Descarga al sistema de alcantarillado – Se transporta la salmuera directamente a instalaciones existentes para el tratamiento de aguas residuales.
- Vertido al mar – Se descarga la salmuera directamente al océano, donde el agua de mar circundante la diluye. Es posible mejorar la dilución mediante la utilización de difusores que distribuyen la descarga en un área más grande, con lo que se logra disminuir la concentración en un punto determinado.
- Descarga a aguas superficiales – Se descarga a un arroyo, río y/o lago, empleando los mismos conceptos de dilución que en el vertido al mar. Por lo general, se recurre a las aguas superficiales cuando el cuerpo de agua dulce está muy cerca de un estuario; sin embargo, esa práctica no necesariamente es la más idónea.

En Loreto, en vista de la existencia del Parque Nacional Marino –además de los posibles impactos ambientales en especies raras y en peligro de extinción, y en ciertos hábitats a lo largo de la costa– el vertido de la salmuera al océano es una alternativa poco atractiva. En México, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) no ha emitido criterios o normas para la toma o descarga de aguas en un área marina protegida. Por lo tanto, no sería sensato insistir en la descarga de la salmuera en aguas abiertas como una primera opción dentro de los límites del Parque Nacional Marino.

6 Beneficios y riesgos de la desalinización

6.1 Beneficios

Con frecuencia, las poblaciones costeras ven la desalinización como la solución ideal para asegurar un abastecimiento ilimitado de agua limpia. La tecnología de la desalinización tiene la capacidad de generar un producto de alta calidad mediante la utilización de un mínimo de recursos adicionales a los que se necesitan en el tratamiento convencional para hacer agua potable. Además, la desalinización ofrece el potencial de mejorar la recarga de las aguas subterráneas y la restauración de ecosistemas porque reduce la demanda sobre fuentes de agua subterráneas y superficiales tales como los acuíferos, ríos y arroyos. Un beneficio de la desalinización especialmente atractivo para los proveedores de agua es su resistencia a condiciones de sequía. Un abastecimiento confiable, durante todo el año, de agua de alta calidad constituye una justificación sencilla para que las comunidades contemplen la desalinización como un recurso de agua.

La desalinización también es una alternativa poco problemática a ser considerada por comunidades costeras que actualmente no están conectadas a la infraestructura municipal existente. Un beneficio irresistible para dichas comunidades es que pueden comprarles a una gran variedad de fabricantes pequeñas “plantas paquete” para el tratamiento del agua. La desalinización puede brindarle a una comunidad aislada un mayor grado de autonomía y flexibilidad para el crecimiento cuando no dispone de otros recursos de agua. Se puede aprovechar la desalinización para proporcionar agua potable a las comunidades de Loreto que se encuentren lejos de la actual infraestructura hidráulica y que deseen desarrollarse de manera independiente del SAPAL.

6.2 Riesgos

6.2.1 Impactos ambientales

Hay muchas maneras en que una planta desaladora pueda tener un impacto negativo sobre el medio ambiente circundante; entonces, a fin de minimizar dichos riesgos, es necesario prestar especial atención a cada ubicación potencial antes de construir la planta. Uno de los impactos más importantes de las actividades de desalinización de agua de mar puede ser en el hábitat marino adyacente a la planta desaladora. Potencialmente, la descarga de salmuera como una corriente de desechos desde la planta puede dañar a

los organismos marinos al elevar la salinidad hasta niveles insalubres o incluso mortales. Aparte de la descarga de salmuera, tanto las instalaciones para la toma de agua como la evacuación de los productos químicos usados en el pretratamiento y la producción de energía mediante el empleo de combustibles fósiles también representan peligros potenciales para el medio ambiente. A continuación se presentan los riesgos ambientales de la desalinización, en el orden secuencial del proceso de tratamiento.

6.2.2 Instalaciones para la toma de agua

A menudo se estudian cuidadosamente las tomas de agua de mar durante el proceso de escoger una ubicación para ellas, principalmente por el impacto que tienen sobre la vida marina. Los organismos marinos pueden ser dañados durante la toma de agua y el proceso de desalinización. Los organismos marinos grandes tales como peces, aves, invertebrados y mamíferos pueden morir atrapados en la rejilla de toma de una planta desaladora (atrapamiento). Aquellos organismos que son lo suficientemente pequeños como para pasar a través de la rejilla de toma son aniquilados durante el proceso de desalinización (arrastre), reduciendo así el alimento disponible para organismos de mayor tamaño y alterando el equilibrio ecológico general del ambiente marino. Se presentan impactos adicionales durante la construcción de cada tipo de toma de agua de mar. Normalmente, dichos impactos son temporales si la construcción se realiza de manera responsable. No obstante, los impactos de largo plazo que hay que evitar son la destrucción de arrecifes o áreas de hábitat rocosas, así como estructuras permanentes que afectarán a la vida silvestre.

6.2.3 Pretratamiento

Los productos químicos utilizados en el pretratamiento y para limpiar y almacenar las membranas tienen el potencial de ser dañinos para el ambiente y generalmente son vertidos con la salmuera en la corriente de desechos. Los productos químicos empleados en el pretratamiento –tales como los ácidos (antiincrustantes) o biocidas– que se liberan en el ambiente marino pueden matar los peces y degradar los hábitats marinos aledaños al punto de descarga. Asimismo, la descarga de dichos productos químicos a plantas de tratamiento de aguas residuales también puede ser problemática. Para minimizar ese riesgo, se puede recurrir a la ultrafiltración para el pretratamiento del agua bruta. A

menudo se necesita el postratamiento antes de la descarga, pero eso puede ser difícil de hacer debido a la mayor densidad y salinidad de la corriente de desechos.

6.2.4 Salmuera

La evacuación de los desechos del proceso de desalinización o de la salmuera puede plantear un reto importante en el momento en que se escoja la ubicación de una planta desaladora y se diseñe la misma. La alta salinidad de la salmuera puede tener serios efectos negativos sobre los recursos marinos en los alrededores de la estructura de descarga. Si bien algunas formas de vida marina pueden adaptarse a ese aumento en la salinidad del agua, hay algunas especies –como los erizos de mar– que son extremadamente sensibles a cambios en la salinidad (RBF Consulting 2004). Cualquier cambio o impacto negativo sobre especies específicas en algún ambiente marino va en detrimento del ecosistema. Eso es particularmente cierto en la región de Loreto, con la presencia del Parque Nacional Marino.

La descarga de la salmuera a las instalaciones existentes de drenaje generalmente no constituye una opción viable, a menos que el sistema de drenaje tenga la capacidad de recibir el gran volumen de carga adicional. Por otra parte, si se descargan grandes cantidades de salmuera al sistema de drenaje, se puede alterar el esquema de tratamiento de una planta, por lo que ésta tendría que ser modernizada o sufrir cambios en su operación. De acuerdo con una evaluación realizada por el SAPAL, el actual sistema de drenaje de Loreto ya se encuentra bajo estrés y no podría manejar los grandes volúmenes de salmuera que se esperarían de una planta desaladora (Quintero 2006). Además, el sistema convencional para el tratamiento de aguas residuales con que cuenta Loreto tiene una capacidad limitada para reducir el contenido de sólidos disueltos en el agua. Por lo tanto, el único beneficio sería la dilución. En última instancia, es probable que con un esfuerzo significativo de modernización se pueda acomodar los desechos de salmuera en el sistema de drenaje existente.

6.2.5 Agua producto

El agua producto resultante de la desalinización a menudo es corrosiva porque tanto la osmosis inversa como la destilación alteran la composición química de dicha agua, aumentando su pH. Con frecuencia se necesita postratamiento del agua producto para

evitar la corrosión del sistema de distribución o la filtración de metales tóxicos desde las tuberías de ese sistema. Se le puede dar un tratamiento adicional al agua producto a fin de aumentar su pH o se puede diluirla con un recurso existente de agua potable para reducir ese efecto.

6.2.6 Soluciones no integradas y aplicaciones no planeadas

Con frecuencia es a escala regional donde se logran las ventajas asociadas con la integración de los proyectos de desalinización a las existentes infraestructuras de energía y agua potable. La integración de estas plantas a sistemas ya existentes permite a una comunidad ampliar su cartera de recursos hídricos y compartir las demandas energéticas implícitas en el abastecimiento de un recurso adicional de agua. Si las instalaciones para la desalinización no se integran a la infraestructura hídrica existente, aquellas porciones de la comunidad que dependen exclusivamente de esos recursos sufrirán escaseces de agua, condiciones de sequía o la contaminación de los recursos hídricos. O bien, si hay aumentos considerables en los precios de los energéticos, los segmentos de la comunidad que dependen de la desalinización como su única fuente de agua pueden tener que enfrentar precios mucho más altos por la misma agua en caso de que los precios de los energéticos se incrementen. A fin de cuentas, plantas desaladoras no integradas o mal planificadas pueden aislar a partes de la comunidad del abastecimiento de recursos hídricos como resultado de los precios de los energéticos o las escaseces de agua. Al combinar todos estos recursos en un solo sistema, la comunidad ya no depende de un solo recurso y se proporciona protección adicional contra las cambiantes condiciones climáticas y económicas.

6.2.7 Afectaciones a medidas de conservación

Con la introducción de una planta desaladora en una comunidad, es posible que el público piense que ya cuenta con reservas ilimitadas de agua. Es necesario implementar medidas para la conservación del agua e inculcarlas plenamente dentro de la cultura de una comunidad antes de que se dé el cambio hacia un recurso “inagotable” tal como la desalinización. Para la región de Loreto, las medidas de conservación deben ser implementadas inmediatamente. Dichas medidas deben tener el mayor alcance posible y un claro enfoque hacia la educación de los consumidores. Semejantes cambios no

solamente les ayudarán a los loretanos a evitar los impactos económicos adversos de las escaseces del agua, sino también frenarán el ritmo de la degradación ambiental asociada con la desalinización.

6.2.8 Potencial de los costos fluctuantes y prohibitivos para los usuarios

Como la desalinización es un proceso de uso intensivo de energía, una comunidad que dependa de la distribución de agua desalada queda expuesta ante el riesgo de variabilidad en los precios de los energéticos y, posteriormente, de aumentos en dichos precios a lo largo del tiempo. El costo del agua desalada está directamente vinculado con los costos de los energéticos. Se comprende que la viabilidad económica de la desalinización de agua de mar depende de la disponibilidad de energía de bajo costo. Actualmente, por eso la desalinización es una opción factible en Baja California Sur. Las inversiones de capital en tecnologías con fuentes de energía renovables y en sistemas para la recuperación de energía dentro de una planta desaladora pueden compensar los costos de los energéticos. El empleo de fuentes de energía renovables con el propósito de evitar las fluctuaciones en los precios de la electricidad generada con combustibles fósiles constituye un componente esencial de la planeación de la gestión del agua a largo plazo.

7 Mejores prácticas para tecnologías de desalinización

No existen “mejores prácticas universales” en el campo de la desalinización. Las mejores prácticas son determinadas por las condiciones específicas del sitio en que está ubicada la planta. Cada planta desaladora propuesta debe ser evaluada para comprender las actuales limitaciones sobre recursos ambientales sensibles que puedan ser afectados. Las prácticas que se mencionan a continuación reflejan las tecnologías ya desarrolladas con las que se cuenta en la actualidad:

Instalaciones centralizadas/integradas – Al escoger un sitio para una planta desaladora, se debe reconocer las limitaciones de la infraestructura existente y dar cabida a la compatibilidad y conectividad con esa infraestructura. Para evitar los problemas que han sufrido numerosas plantas desaladoras del sector privado, las comunidades necesitan colaborar en el establecimiento de una instalación centralizada. Es preciso ofrecer incentivos y fijar reglamentos para estimular a los desarrolladores privados a cooperar y a comprometerse a una solución regional para el abastecimiento del agua. Eso previene los riesgos asociados con las aplicaciones no planeadas que se describieron arriba y también permite la existencia de un solo punto de reglamentación de las actividades de desalinización.

Toma de agua – Se deben hacer todos los esfuerzos posibles por evitar la extracción directa de aguas superficiales. Entonces, en un ambiente costero el método preferido para captar el agua salada debe apoyarse en tomas poco profundas o bien, en pozos playeros. Éstos generalmente tienen capacidades menores y requieren de estudios de la subsuperficie tales como pruebas de bombeo y pozos de prueba. Si no es posible alcanzar la capacidad requerida con pozos playeros, se debe considerar la utilización de pozos horizontales radiales poco profundos. La construcción de estos pozos normalmente es más costosa, pero –al igual que los pozos playeros– los pozos horizontales radiales tienen un mínimo impacto de largo plazo en la vida marina. Si no están disponibles opciones a poca profundidad y si se necesita una toma abierta de agua, el método menos

intrusivo para recuperar el agua salada consiste en utilizar tomas con filtros de rejilla sin lavado mecánico. Hay que notar que todos los métodos arriba mencionados tendrán algún grado de impacto ambiental. Se han presentado estas opciones con cierta preferencia por aquellos sistemas que minimicen tanto los impactos relacionados con la construcción como los que surjan con la operación de la planta. El proceso de escoger una ubicación para las tomas debe incluir el nivel apropiado de revisión en materia ambiental.

Pretratamiento – El método más eficaz para el pretratamiento del agua bruta destinada a la desalinización consta del uso de pozos poco profundos como tomas filtrantes hacia el sistema. La filtración de partículas y organismos a través de los suelos *in situ* (típicamente arenas) proporciona un beneficio adicional para la operación del sistema. Las tecnologías de membrana, tales como la osmosis inversa, a menudo requieren de pretratamiento adicional para minimizar el ensuciamiento de las membranas. Con frecuencia se emplean productos químicos para ajustar el pH, funcionar como biocida o eliminar elementos parcialmente solubles. Los residuos resultantes de dichos tratamientos acaban en la corriente de desechos y pueden causar problemas cuando se evacua la salmuera. Es posible que, por la presencia de productos químicos usados en el pretratamiento que luego se eliminan junto con la salmuera, la clasificación de la corriente de desechos tenga que cambiar a “contaminante” (en vez de “agua de mar muy concentrada”); antes de permitir esa situación, es necesario valorar los consiguientes impactos ambientales. Las técnicas de separación física tales como la ultrafiltración deben utilizarse a fin de evitar el empleo de otros productos químicos para contrarrestar la mezcla de sustancias químicas agregadas durante el pretratamiento. Un método eficaz para lograr la separación física consiste en la ultrafiltración, con la cual se elimina la mayor parte de los organismos y materia en partículas.

Tecnología de proceso – En la actualidad, la tecnología de membrana es la utilizada más comúnmente para la desalinización a nivel mundial. Por ende, en vista de la magnitud de la investigación y desarrollo que va dirigida al perfeccionamiento de la tecnología de osmosis inversa, ésta será la tecnología más eficiente y con mayores probabilidades de ser introducida en la región de Loreto para la desalinización de agua de mar. Los

beneficios de recurrir a la osmosis inversa son: costos de energía reducidos en comparación con las tecnologías térmicas; investigación y desarrollo constante, encaminada a lograr mayores eficiencias, y sistemas para la recuperación de energía disponibles en el mercado. El empleo de la tecnología de osmosis inversa debe incluir membranas de baja presión y sistemas para la recuperación de energía. Con las inversiones de capital requeridas en un principio para ambas medidas ahorradoras de energía, habrá una reducción en el consumo de energía y se ayudará a mitigar las fluctuaciones en los costos de energía asociados con la producción de un abastecimiento de agua potable.

Evacuación de la salmuera – No existe una mejor práctica única para la evacuación de la salmuera. Cuando se determina el método apropiado para eliminar la salmuera, se necesita tomar en cuenta las características específicas del sitio de la planta. A menudo no basta con un solo método de evacuación. En las investigaciones iniciales sobre el sitio de ubicación de la planta, siempre hay que considerar un método conjunto para la evacuación. Tal esfuerzo reducirá el impacto específico de la evacuación en un sector del medio ambiente y permitirá la flexibilidad en todas las operaciones de la planta. Componentes críticos para disminuir los efectos de la evacuación de salmuera son: la reducción del volumen de ésta que hay que descargar y la minimización de los efectos adversos de los productos químicos que se encuentran en la misma.

Una técnica conjunta que tiene el menor impacto en la vida marina consistiría en inyectar la salmuera en un sistema de acuíferos confinados junto con la utilización de lagunas de evaporación. Esas lagunas constituyen un método ideal para eliminar la salmuera, pero su costo puede ser prohibitivo debido a las grandes extensiones de terreno que requieren, así como por el componente estético indeseable de las mismas. No obstante, las lagunas de evaporación permiten la minimización de los impactos en los ambientes marinos y que los sólidos remanentes sean reutilizados o eliminados adecuadamente en un relleno sanitario.

Con la inyección de la salmuera en pozos profundos, ésta se elimina bajo la superficie y es diluida dentro de un sistema existente de acuíferos. Ese tipo de inyección requiere de un minucioso estudio hidrogeológico para asegurar que no se contaminen los

recursos de agua subterránea existentes o adyacentes y que el sistema de acuíferos tenga la capacidad de soportar la inyección por tiempo indefinido.

La eliminación en aguas abiertas solamente debe contemplarse como una última opción. Si se opta por esa alternativa, la mejor solución disponible consiste en desagües con dispositivos difusores. Los desagües tienen que estar situados tomando en cuenta las corrientes, las densidades relativas de la salmuera y del agua de mar (por lo general, aquélla tiene una densidad más alta que ésta) y las propiedades de cualesquier otros diluentes tales como las aguas residuales. Es preciso realizar un modelaje conceptual y numérico de los desagües en aguas abiertas antes de escoger una ubicación para ellos.

7.1.1 Cómo escoger una ubicación para una planta desaladora en la región de Loreto

La mayor parte del desarrollo costero potencial en la región de Loreto se sitúa dentro de los límites del Parque Nacional Marino. Si se habrá de planear y ubicar una planta desaladora dentro del Parque Nacional Marino, deben efectuarse estudios de línea de base de los ambientes marino y estuarino circundantes con la finalidad de valorar el significado ecológico del sitio en cuestión, así como los impactos potenciales de las instalaciones sobre esos sistemas.

Después de recopilar los datos de línea de base, es necesario realizar investigaciones hidrogeológicas para determinar la factibilidad de las tomas subsuperficiales y de la inyección de la salmuera en pozos profundos. Las tomas superficiales y los vertidos al mar únicamente deben considerarse como último recurso, y tales medidas solamente pueden ser implementadas después de que se hayan efectuado el modelaje hidrodinámico de las estructuras de las tomas y el modelaje de dispersión de las estructuras de los desagües. Es imperativo que los hallazgos de tales estudios indiquen que el impacto en la calidad del agua de mar y en la vida marina será mínimo. Dadas esas limitaciones, es menester evaluar de manera muy cuidadosa la construcción de una planta desaladora dentro de los límites del Parque Nacional Marino Bahía de Loreto.

Es probable que la evacuación de la salmuera de cualquier sitio, esté dentro o fuera del Parque Nacional Marino, requiera de algún grado de mitigación. Si se considera la

posibilidad de un desagüe al mar para aplicaciones fuera de dicho parque, se necesitaría el mismo nivel de diligencia cuidadosa que en el caso de que la planta estuviera ubicada dentro del parque. Eso se haría principalmente para tener en consideración el efecto de las corrientes que transportan la salmuera o que interrumpen las vías migratorias de especies marinas de entrada y salida del parque. Hay que tomar medidas adecuadas para contrarrestar los impactos ambientales negativos de la desalinización, independientemente de la ubicación de la planta.

8 Conclusión – Mejores prácticas para la gestión del agua en Loreto

En la región de Loreto, el desarrollo se ha ido acelerando rápidamente; esto amerita una mayor y mejor planeación y coordinación entre las instancias gubernamentales, los municipios locales, los inversionistas y los residentes. Como ocurre con cualquier tipo de crecimiento, una preocupación muy importante consiste en proporcionar recursos adecuados para sostener a la población y proteger la salud pública. Mientras la comunidad considera la posibilidad de la desalinización para hacer frente a incrementos en la demanda de agua y a la insuficiencia consiguiente del Acuífero de San Juan Bautista Londó, se necesitará cautela para asegurar que los recursos de agua adicionales sean desarrollados de manera sustentable y concienzuda.

Con las prácticas que se presentan a continuación esbozamos la priorización de las mejores prácticas para asegurar un abastecimiento adecuado de agua en Loreto conforme crece. La desalinización se clasifica como última alternativa respecto a otras posibles acciones. Eso es porque los esfuerzos por resolver otras ineficiencias del sistema tendrán beneficios duraderos e impactos negativos más limitados en comparación con la desalinización. Al aplicar métodos prioritarios para satisfacer las crecientes necesidades de la población, es posible postergar la desalinización para asegurar que cuando se implemente, se aplique correctamente y para permitir que las tecnologías de desalinización sean perfeccionadas antes de introducir ese proceso en la región de Loreto.

- 1) Conservación del agua
 - a. Creación e implementación de un plan de gestión del agua
 - b. Educación
 - c. Incentivos económicos
 - d. Vigilancia y cumplimiento a nivel local
- 2) Reparación y mantenimiento del sistema de distribución
 - a. Evaluación de la infraestructura existente
 - b. Reemplazo o reparación potenciales del actual sistema
 - c. Incremento en el mantenimiento
- 3) Ampliación de los recursos existentes

- a. Mayor recarga de aguas subterráneas
 - b. Reciclaje del agua
 - c. Remediación de pozos contaminados
- 4) Desalinización³
- a. Centralizada – planta desaladora integrada
 - b. Recopilación – datos ecológicos de línea de base
 - c. Tomas – subsuperficiales que proporcionan agua salobre
 - d. Pretratamiento – combinación de tomas subsuperficiales y ultrafiltración
 - e. Osmosis inversa – utilización de membranas de baja presión y de sistemas para la recuperación de energía
 - f. Evacuación de salmuera – reducción y eliminación conjunta mediante el uso de pozos profundos para la inyección y el vertido en rellenos sanitarios
 - g. Selección de una ubicación para Loreto – Evaluación detallada de los impactos ambientales, estudios hidrogeológicos, modelaje hidrodinámico del ambiente marino contiguo.

Las prácticas presentadas en este documento ofrecen métodos y pasos necesarios para maximizar los recursos hídricos existentes, así como una evaluación de métodos para implementar la desalinización. Eso no implica la eliminación de los riesgos ambientales, económicos y sociales asociados con la ampliación del actual suministro de agua a Loreto mediante el desarrollo de una planta desaladora o algún otro medio de producción. Más bien, nuestro informe proporciona alternativas previas al momento de determinar la necesidad innegable de la desalinización. Ofrece asesoría para el momento en que ésta se considere apropiada, respecto a la manera idónea de escoger la ubicación de la planta e integrarla, y de reducir a la larga los efectos negativos que las tecnologías de desalinización pudieran acarrear. Al maximizar los recursos existentes, es posible evitar la desalinización en el corto plazo y, cuando finalmente se haga necesaria, implementarla de manera responsable.

³ Se han condensado las tecnologías presentadas en esta lista; representan las mejores tecnologías comercialmente disponibles bajo condiciones ideales. Por ejemplo, la eliminación subsuperficial puede no constituir una alternativa viable si las condiciones hidrogeológicas no son adecuadas o si en los alrededores hay un acuífero activo de agua dulce que pudiera ensuciarse. En la sección 7 de este informe se presentan descripciones más detalladas de las opciones tecnológicas.

Traducción del inglés:

Susan Beth Kapilian

Cd. de México

9 Referencias

Affordable Desalination Collaboration. "Affordable Desalination Sets Low Energy Record." San Leandro, CA: ADC, 2006.

Barlow, Maude, and Tony Clarke. "Who Owns Water?". *The Nation*, 2 septiembre, 2002.

California Department of Water Resources. *Guidebook to Assist Water Suppliers in the Preparation of a 2005 Urban Water Management Plan*. Sacramento, CA: DWR, 2005.

Cassassuce, Florence. *Progress Report on the San Juan Londó Aquifer Study*. La Paz, BCS: Sociedad de Historia Natural Niparajá, 2006.

Cooley, Heather, et al. *Desalination, With a Grain of Salt: A California Perspective*. Oakland, CA: Pacific Institute, 2006.

Durban, James, Marina Coast Water District Operations Engineer. Personal interview. 4 agosto, 2006.

Energy Recovery, Inc. 1 agosto, 2006.

<http://www.energyrecovery.com/stage/homepage/home_page_ek_2.php4>

Glueckstern, Dr. Pinhas. "Desalination: Current Situation and Future Prospects." Israel: Bar-Ilan University, 2004.

Institute for Regional Studies of the Californias, San Diego State University. *Environmental Technologies and Service Opportunities in the Baja California Peninsula*. Sacramento, CA: California Environmental Protection Agency, International Affairs Unit, 2003.

International Community Foundation. *Baja California Sur's Community-Based Opportunities & Needs*. San Diego, CA: ICF, 2006.

Keene, Charles F. *Water Desalination: Findings and Recommendations*. Sacramento, CA: California Department of Water Resources, 2003.

Lenntech Water Treatment and Air Purification. "Membrane Technology." 2006, consultado en Internet 28 junio, 2006.

<<http://www.lenntech.com/desalination-pretreatment.htm>>

Long Beach Water Department. *Long Beach Seawater Desalination, The Long Beach Method - NF2 Desalination Process*. Long Beach, CA: LBWD, 2006.

<<http://www.lbwater.org/desalination/desalination.html>>

López, Catalina, et al. *Alternative Futures for the Region of Loreto, B.C.S. Mexico: Assessment of Impacts to the Marine Environment*. San Diego, CA: Scripps Institution of Oceanography, 2006.

Mace, Robert E. *Report 365: Aquifers of the Gulf Coast of Texas*. Austin, TX: Texas Water Development Board, 2006.

Maddock, Dr. Thomas, et al. *Groundwater and Surface Water Assessment: Region of Loreto, Mexico*. Tempe, AZ: University of Arizona, 2005.

<http://www.futurosalternativosloreto.org/hydrology/Hydrology_Loreto.doc>

Marin Municipal Water District. *Desalination: Understanding and Managing Energy Use*. Corte Madera, CA: MMWD, 2006.

Morales Polo, Sergio. "Reunión de Agua en Loreto – 5 de junio, 2006". Loreto, BCS: Grupo Ecologista Antares, 2006.

Nicot, Jean-Philippe. "Desalination in Texas: What's Next?". *Spring 2004 BEG Technical Seminar Series*. Austin, TX: Bureau of Economic Geology, University of Texas at Austin, 2004.

Pankratz, Tom. "An Overview of Seawater Intake Facilities for Seawater Desalination." Englewood, CA: CH2M Hill, Inc., 2004.

Parkin, Brittany. "Loreto Bay Company: Sustainable or Greenwashing?". *Baja Life Magazine*, 2006.

<<http://www.bajalifemag.com/issuex/loretobayco.html>>

Quintero, Ing. Hugo M. Director Gral. "Presentación: Agua en Loreto – Capacidad e Infraestructura." Loreto, BCS: SAPAL, versión con fecha de 11 julio, 2006; presentado 5 junio, 2006.

Qutob, Mutaz. "Environmental Impacts of Water Desalination Along the Coastal Region of Israel and the Palestinian Authority." 2004, consultado en Internet 25 julio, 2006.

<<http://www.ipcri.org/watconf/papers/mutaz.pdf>>

RBF Consulting. *Seawater Desalination "White Paper"*, preparado para California American Water, RBF Consulting, Monterey, CA, 2004.

<http://www.coastalwaterproject.com/pdf/WhitePaper_SeawaterDesalination.pdf>

Smith, Dr. James. *The Future of Desalination in Texas*. Austin, TX: Texas Water Development Board, 2004.

SPG Media Limited. "Ashkelon Desalination Plant, Seawater Reverse Osmosis (SWRO) Plant, Israel." 2006, consultado en Internet 4 agosto, 2006.

<<http://www.water-technology.net/projects/israel>>

SPG Media Limited. "Seymour Reverse Osmosis Plant, TX, USA." 2006, consultado en Internet 4 agosto, 2006.

< <http://www.water-technology.net/projects/seymour>>

Steinitz, Carl, et al. *Alternative Futures for the Region of Loreto, Baja California Sur, Mexico*. Cambridge, MA: Harvard University, 2005.

<http://www.futurosalternativosloreto.org/report/report_ref.htm>

The Nature Conservancy – Mexico Program. “Gulf of California/Loreto Bay Marine Park: Overfishing Threatening Marine Area Known as ‘The World’s Aquarium.’” San Antonio, TX: The Nature Conservancy, 2006.

<http://parksinperil.org/files/page_4_gulf_of_california_loreto_bay_marine_park.pdf>

The Trust for Sustainable Development. 24 julio, 2006.

<<http://www.tsd.ca>>

United Nations Environment Programme, International Environmental Technology Centre. *Sourcebook of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Latin America and the Caribbean*. Osaka/Shiga, Japón: UNEP, 1997.

<<http://www.unep.or.jp/ietc/publications/techpublications/techpub-8c/index.asp>>

U.S. Bureau of Reclamation and Sandia National Laboratories. *The Desalination and Water Purification Technology Roadmap – A Report of the Executive Committee*. Denver, CO: Bureau of Reclamation, Denver Federal Center – Water Treatment Engineering & Research Group, 2003.

Wangnick, Klaus. “Present Status of Thermal Seawater Desalination Techniques.” 2004, consultado en Internet 4 agosto, 2006.

<http://www.idswater.com/Common/Paper/Paper_51/Present%20Status%20of%20Thermal%20Seawater%20Desalination.htm>

Water Desalination International. 1998, consultado en Internet 4 agosto 2006.

<<http://www.waterdesalination.com/factssample1.htm>>

York, R. and M. Foster. *Issues and Environmental Impacts Associated with Once-Through Cooling at California's Coastal Power Plants*. Sacramento, CA: California Energy Commission, 2005.

10 APÉNDICE

Biografías de los autores

Bry Sarté, Ingeniero Principal

Bry Sarté es el fundador de Sherwood Design Engineers, una compañía de ingeniería civil y ambiental con sedes en San Francisco y la Ciudad de Nueva York en Estados Unidos. Como ingeniero principal de la oficina ubicada en San Francisco, el señor Sarté dirige el desarrollo de los trabajos de la compañía en proyectos internacionales, nacionales y locales. Tiene muchos años de experiencia en ingeniería a nivel internacional, desde la planificación maestra en materia ambiental y el diseño de infraestructura sustentable en desarrollos urbanos, de uso mixto y de lugares de vacaciones (resorts) hasta la planificación de ubicaciones para edificios individuales y sitios únicos. Bry Sarté ha dado directrices de ingeniería para proyectos de plan maestro y de mejoras a lo largo de América del Norte, así como en destinos de clase mundial en el Caribe, el Pacífico Sur, África y Europa. Durante el desarrollo de un plan maestro con orientación ecológica en la Bahía de Butterfly en el Norte de Nueva Zelandia, el señor Sarté facilitó la comunicación entre las entidades locales y las personas que representaban a los intereses comunitarios e indígenas y que ayudaron a orientar el proyecto. El ingeniero Sarté también dirigió el diseño civil para la incorporación de la conservación del agua en la infraestructura existente en Costa Smeralda, un área costera de importancia histórica en Italia. Actualmente, el señor Sarté maneja el desarrollo, por parte de Sherwood, del diseño de infraestructura de bajo impacto en las islas solitarias del Archipiélago de Seychelles en el Océano Índico. Además, dirige trabajos similares en proyectos en la Isla de Catalina, cerca de la costa del Sur de California; el Lago de Draper en Florida; Tagahazout en el Norte de Marruecos; la Bahía de Loreto en México, y la Isla de St. Kitts en el Caribe.

Algunos trabajos del ingeniero Sarté han sido publicados internacionalmente. Él ha hecho aportaciones significativas a las investigaciones contemporáneas sobre cuestiones ambientales mundiales que afectan la arquitectura, la ciencia de los materiales y la utilización de la energía. Ha participado como conferencista invitado en la Universidad de California en Berkeley y en la Universidad de Stanford, presentando trabajos sobre el diseño y construcción de infraestructura ambientalmente sensible. Ha hecho presentaciones sobre temas afines en la San Francisco Planning and Urban Research

Association (SPUR), así como en los congresos nacionales y estatales de la American Society of Landscape Architects.

Andrew J. Leahy, Ingeniero Senior

Andy Leahy cuenta con más de veinticinco años de experiencia como ingeniero y planificador en el diseño y análisis de infraestructuras de ingeniería civil y en la restauración ambiental. El señor Leahy funge como Ingeniero Senior de Diseño en muchos de los proyectos más extensos de planes maestros de infraestructura realizados por Sherwood Design Engineers. Ha trabajado como consultor independiente y también con empresas tales como Greiner Engineering, Inc., una compañía dedicada a la ingeniería civil y planificación urbana que brinda servicios de diseño de ingeniería y diseño arquitectónico en proyectos en todo Estados Unidos, así como en la región de Asia/Pacífico. La experiencia del señor Leahy abarca todos los aspectos del proceso de desarrollo urbano y mejoras civiles, desde la contratación para la construcción por parte de gobiernos locales y el sector privado hasta la consultoría en ingeniería y planificación urbana. Su extensa preparación y experiencia aseguran sólidos cimientos para la identificación de soluciones de ingeniería eficientes, costo-efectivas y ecológicamente sensatas para el desarrollo de infraestructura, la asignación de recursos y la gestión de proyectos.

El señor Leahy ha preparado diseños de ingeniería y ha realizado análisis ambientales para una amplia gama de proyectos en toda América del Norte, especialmente en gran parte de California. Como ingeniero con una maestría en planificación urbana, el señor Leahy tiene la capacidad de franquear la brecha que con tanta frecuencia separa las metas de planificación de la implementación de la construcción. El ámbito de su experiencia incluye el diseño de la circulación vial, el de vías y obras de tierra, asesoría para la formación de distritos para el suministro de servicios públicos (electricidad, agua, etc.), manejo de aguas de tormenta, suministro y distribución de agua, tratamiento y eliminación de aguas residuales, evaluaciones hidrológicas y de la calidad del agua, suelos y geología, mitigación de humedales y restauración de arroyos, junto con todas las facetas del diseño y preparación de planes en el campo de la ingeniería civil.

Eric Zickler, Diseñador Senior

Eric Zickler cuenta con más de 6 años de experiencia como ingeniero dedicado al diseño y análisis de sistemas de tratamiento de agua. El señor Zickler tiene una licenciatura en ciencia (B.S.) en ingeniería civil de la Universidad Estatal de Colorado y una maestría en ciencia (M.S.) en ingeniería civil y ambiental de la Universidad Politécnica Estatal de California, San Luis Obispo. El enfoque y la especialización del señor Zickler han sido en la ingeniería de recursos de agua alternativos y en sistemas avanzados para el tratamiento del agua. El ingeniero Zickler ha preparado planes urbanos para la gestión del agua y de cuencas subterráneas manejadas, y ha colaborado en el desarrollo de programas de agua reciclada en todo el Estado de California. El señor Zickler también ha dirigido y participado en numerosos estudios de modelos de aguas superficiales y subterráneas con la finalidad de evaluar los valores de rendimiento sustentable en acuíferos y de investigar el potencial para usos integrados del agua.

Manon Terrell, Estudiante Investigadora

Manon Terrell, profesionalista acreditada LEED (Liderazgo en Diseño de Energía y Ambiente), es estudiante en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Stanford. Los intereses de la señorita Terrell en el ámbito de la investigación incluyen materiales de construcción sustentables, así como técnicas ambientalmente sensibles de diseño y construcción, en particular para comunidades de bajos ingresos y/o en desarrollo, tanto en Estados Unidos como en el extranjero. También tiene un interés creciente en mejores prácticas de infraestructura sustentable dentro de contextos urbanos.

Julia Campbell, Estudiante Investigadora

Julia Campbell actualmente es estudiante del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental en la Universidad de California en Berkeley. Sus estudios están centrados en los sistemas diseñados por ingeniería y ella tiene un fuerte interés en incorporar características sustentables tales como edificios verdes, sistemas de transporte de bajo impacto y sistemas municipales de alta eficiencia, en el paisaje diseñado.

(Paragraph eliminated)

Hoy en día, la mayor parte del agua dulce para Loreto se extrae del acuífero de San Juan Bautista Londó y se bombea hasta Loreto para uso municipal. En el reciente estudio de modelaje realizado por la Universidad de Arizona (Maddock 2005), se llegó a la conclusión de que había intrusión de agua de mar en el acuífero en los alrededores de San Bruno (Figura 1). Si, en efecto, está ocurriendo la intrusión de agua de mar en la costa, es posible que en ese lugar esté disponible un recurso de agua subterránea salobre en potencia. En vista de ese recurso de agua subterránea salobre, dicha localidad podría representar una oportunidad para utilizar tecnología de NF, un proceso para la desalinización que consume energía de forma menos intensiva que la OI. Si se llega a canalizar más agua desde el norte, sería necesario evaluar la capacidad general para utilizar la existente infraestructura de tuberías de conducción.