

EFICIENCIA HÍDRICA EN LA REGION DE ATACAMA:

EVALUACIÓN DE BRECHAS IDENTIFICADAS A LA LUZ DE LA
EXPERIENCIA INTERNACIONAL

MEng GABRIELLA BENNISON
MSc WOLF VON IGEL
PhD NAWSHAD HAQUE
PhD ENRIQUE ROMAN
PhD EDMUNDO CLARO

Informe Final
Abril 2016



Cita

Bennison, G., von Igel, W., Haque, N., Román, E. y Claro, E. 2016. Eficiencia hídrica en la Región de Atacama: Evaluación de brechas identificadas a la luz de la experiencia internacional. Santiago, CSIRO Chile.

Derechos de Autor

© Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation 2016. Hasta donde esté permitido por la ley, se reservan todos los derechos y ninguna parte de esta publicación cubierta por el derecho de autor puede reproducirse o copiarse en modo alguno o por ningún medio, excepto con el permiso escrito de CSIRO.

Descargo Importante

CSIRO indica que la información contenida en esta publicación comprende declaraciones de carácter general basadas en investigación científica. Se advierte al lector, quien debe considerar, que dicha información puede estar incompleta o que es posible que no resulte útil para alguna situación específica. Por ende no se debe confiar ni se deben ejecutar acciones basándose en la información sin buscar consejo previo experto, de tipo profesional, científico y técnico. Hasta donde esté permitido por la ley, CSIRO (incluyendo a sus empleados y consultores) se excluye de toda responsabilidad civil ante cualquier persona debido a cualquier consecuencia, incluyendo pero sin limitarse a, toda pérdida, daño, costo, gasto y otras compensaciones, que surjan directa o indirectamente del uso de esta publicación (en parte o en su totalidad) y cualquier información o material contenido en ella.

CSIRO está comprometido a entregar contenido accesible en la web cuando sea posible. Si tiene dificultades para acceder a este documento, póngase en contacto con enquiries@csiro.au.

Resumen Ejecutivo

El aumento de la presión sobre los recursos hídricos alrededor del mundo es cada vez más evidente; en efecto, la creciente población, la progresiva urbanización, el desarrollo económico y el cambio climático son factores claves que amenazan este recurso finito. La necesidad de mejorar la eficiencia hídrica y la gestión de los recursos hídricos se ha convertido en un elemento muy significativo dentro de la agenda mundial. En la Región de Atacama, objeto de este estudio, actualmente estas condiciones se están viendo incrementadas. Si bien la región es altamente productiva debido a la gran actividad minera y agrícola, su futuro es incierto debido a que se ubica en el desierto más árido del mundo y los recursos hídricos se han visto mermados.

Benchmarking Internacional

El presente informe se basa en el estudio realizado por la Universidad de Chile (2016) que identifica y prioriza las brechas que existen con relación a la eficiencia hídrica en distintos sectores económicos de la Región de Atacama. A fin de verificar y validar los resultados de ese estudio, este trabajo realizó un ejercicio de benchmarking de las brechas identificadas con respecto a casos internacionales. Los casos fueron seleccionados considerando regiones con similares condiciones climáticas y actividades económicas para dar validez a los resultados. Los principales países elegidos para comparar las prácticas respecto de la eficiencia hídrica con la Región de Atacama fueron Australia, Israel, España y Estados Unidos (específicamente California). Siguiendo la estructura del informe de la Universidad de Chile (2016), este estudio realizó la comparación del consumo de agua y de las medidas para mejorar la eficiencia hídrica para cada sector analizado en forma individual: transversal, minería, agricultura, sanitario y comunidades.

A continuación se presenta un resumen de los resultados del ejercicio de benchmarking:

- Las brechas identificadas en el sector transversal son muy razonables a la luz de los casos internacionales revisados. Particularmente hay un desafío importante con respecto a la información disponible y al conocimiento de las cuencas entendidas como sistemas. Se observa que para una implementación efectiva de las medidas de gestión propuestas, es esencial que toda generación de información y desarrollo de herramientas de soporte a la toma de decisiones esté validada por las partes interesadas, en especial los diversos usuarios del agua en la Región de Atacama.
- En el sector agrícola en general se observa una eficiencia hídrica comparable a los casos internacionales en términos de la masa de cultivo producido por cantidad de agua utilizada. Los ejemplos analizados de medidas internacionales para mejorar la eficiencia presentados son relevantes y tienden a coincidir con los identificados por el estudio de la Universidad de Chile (2016) para el caso de Atacama. Dadas las características de las fuentes de agua, en donde una parte significativa corresponde a aguas subterráneas, se recomienda comparar la costo-efectividad de las medidas a nivel intra-predial con respecto a las de índole extra-predial de cara a reducir el consumo de agua global del sector.
- En general la eficiencia del consumo de agua en el sector minería está bien encaminada, especialmente para el hierro y el oro, tanto en términos de cantidad de agua utilizada por unidad de producción como con respecto a las fuentes de agua usadas (agua desalada y agua

reciclada). Sin embargo, para la minería del cobre se usa mucho más agua en comparación con el caso de Australia. En el caso del cobre, el ejemplo australiano refleja un camino claramente más avanzado para implementar nuevas tecnologías, invertir en capital humano y mejorar la gestión del recurso en general. Esto probablemente se debe a la cantidad y calidad de las instituciones y sistemas de soporte en I+D+i que existen en Australia en comparación con la Región de Atacama.

- El sector sanitario la Región de Atacama no se ve muy bien en comparación con lo examinado en los ejemplos internacionales. En particular resalta que la cantidad de agua no facturada es excesivamente más alta que en los países analizados. Además, los avances que algunos de estos países han generado en esta área les ha permitido generar excelentes oportunidades para comercializar sus tecnologías en el mercado mundial, algo claramente ausente en la región en particular y en Chile en general.
- En comparación con los países analizados, el consumo de agua en el sector comunidades es muy eficiente en la Región de Atacama. De este modo, se recomienda ser cauteloso con los ambiciosos objetivos de consumo propuestos por los estudios anteriores, de modo de no comprometer la salud de la sociedad. De acuerdo a los casos internacionales se debe implementar una estrategia que combine soluciones “duras” y “blandas”; por ejemplo, cambios tecnológicos y campañas de educación.

Gestión Integrada

El trabajo analizado durante este estudio posee un enfoque que prioriza la eficiencia hídrica en cada sector de la región por separado. Si bien concentrarse en mejorar la eficiencia hídrica es importante, corresponde a sólo un elemento dentro del portfolio de iniciativas tendientes a optimizar la gestión de los recursos hídricos. En efecto, en ausencia de medidas complementarias, iniciativas de este tipo no se traducen necesariamente en una mejora del medio hídrico y menos aún en una reducción en la escasez relativa del recurso, la que depende de las extracciones y de los vertidos. Contrariamente a lo que sugiere la intuición, concentrarse sólo en aumentar la eficiencia hídrica puede generar incentivos para que aumente la presión sobre el recurso tanto a nivel como a nivel de la cuenca. Además este enfoque no aborda cuestiones clave tal como el medio ambiente o asegurando el desarrollo social de la región.

Por estas razones se recomienda avanzar hacia un programa de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) para cada cuenca de la Región de Atacama. Un enfoque de estas características proporcionará un futuro más seguro y planificado, a la vez que garantiza una distribución más equitativa del recurso hídrico, principalmente debido a que una parte medular de la GIRH consiste en la activa participación de todos los actores relevantes en las decisiones a nivel de cuenca.

Actualmente la región parece carecer de una gestión coordinada de los recursos hídricos en donde los distintos sectores usuarios del agua sean entendidos como elementos de un mismo sistema: la cuenca. Si la situación no se modifica, especialmente en términos institucionales, es muy probable que lo anterior implique una gestión no del todo organizada para el futuro de la cuenca. En este sentido, el reto principal reside en las condiciones que permitirían implementar la GIRH en la región, y por eso otros trabajos serán requerido que complementen la información fresca y nueva proporcionada por los estudios recientes focalizados en la eficiencia hídrica.

Contenidos

Resumen Ejecutivo	4
Contenidos	6
Figuras	11
Tablas	12
Agradecimientos	13
1 Introducción	14
1.1 Antecedentes generales	14
1.2 Objetivos	14
1.3 Alcance del estudio	15
1.4 Estructura del informe	16
2 Sector Transversal	17
2.1 Casos internacionales a ser analizados y comparados.....	17
2.1.1 Israel	17
2.1.2 Australia	17
2.2 Resumen de lo contenido en los informes de la Universidad de Chile	17
2.3 Comparación de brechas	18
2.3.1 Red hidrométrica actualizada	18
2.3.2 Modelos para simular diferentes procesos físicos relacionados con el ciclo hidrológico de las cuencas y para operación dinámica de embalses.....	21
2.3.3 Sistema / plataforma para la toma de decisiones con transmisión de datos en tiempo real.....	23
2.3.4 Información de DAA y uso efectivo de agua	23
2.4 I + D + i	24
2.5 Discusión y recomendaciones.....	25
3 Sector Agrícola	27

3.1	Antecedentes generales	27
3.2	Casos internacionales a ser analizados y comparados.....	27
3.2.1	España.....	27
3.2.2	Estados Unidos.....	27
3.2.3	Australia	27
3.2.4	Resumen	28
3.3	Resumen de lo contenido en los informes de la Universidad de Chile	28
3.4	Comparación de consumos.....	29
3.4.1	Resumen	30
3.5	Comparación de brechas	31
3.5.1	Revestimiento / entubamiento de canales.....	31
3.5.2	Sistemas de monitoreo y transmisión de datos de humedad de suelo	31
3.5.3	Sistema tecnológico de transmisión de datos para gestión hídrica a nivel extra predial	32
3.6	I + D + i	34
3.7	Discusión y recomendaciones.....	35

4	Minería	37
----------	----------------	-----------

4.1	Antecedentes generales	37
4.2	Casos internacionales a ser analizados y comparados.....	37
4.2.1	Australia	37
4.2.2	India	42
4.3	Resumen de lo contenido en los informes de la Universidad de Chile	43
4.4	Comparación de consumos y los usos del agua	47
4.4.1	Australia	47
4.4.2	India	54
4.4.3	Resumen	55
4.5	Comparación de brechas	57
4.5.1	Disminución de evaporación desde tranques de relaves (y pilas de lixiviación)	57
4.5.2	Recirculación de soluciones y regeneración de cianuro en minería de oro.....	57
4.5.3	Eficiencia de espesadores y relaves en pasta	58

4.5.4	Fortalecimiento de la red de apoyo y fomento productivo (especialmente mediana y pequeña minería)	59
4.5.5	Generación de acciones asociativas para la implementación de nuevas tecnologías y capacidades	60
4.5.6	Manejo de depósitos de relave y gestión de cierre de faenas.....	60
4.5.7	Potenciales tecnologías para el ahorro de agua en minas.....	61
4.6	I + D + i	64
4.6.1	Experiencia internacional.....	64
4.6.2	Potencial regional	65
4.7	Discusión y Recomendaciones	66
4.7.1	Reflexiones del estudio	66
4.7.2	Análisis de barreras económicas y sociales.....	67
4.7.3	Recomendaciones generales	68

5	Sector Sanitario	69
----------	-------------------------	-----------

5.1	Antecedentes generales	69
5.2	Casos internacionales a ser analizados y comparados.....	69
5.2.1	Israel	69
5.2.2	España.....	69
5.2.3	Australia.....	69
5.3	Resumen de lo contenido en los informes de la Universidad de Chile	70
5.4	Comparación de consumos.....	70
5.4.1	Israel	71
5.4.2	España.....	71
5.4.3	Australia	71
5.4.4	Resumen	71
5.5	Comparación de brechas	71
5.5.1	Desalación / Osmosis inversa.....	72
5.5.2	Reutilización de aguas residuales	73
5.5.3	Métodos para reducir las pérdidas en redes	74
5.6	I + D + i	75
5.7	Discusión y recomendaciones.....	77

6	Sector Comunidades	79
6.1	Antecedentes generales	79
6.2	Casos internacionales a ser analizados y comparados.....	79
6.2.1	Israel	79
6.2.2	España.....	79
6.2.3	Australia	79
6.2.4	Resumen	80
6.3	Resumen de lo contenido en los informes de la Universidad de Chile	80
6.4	Comparación de consumos.....	81
6.4.1	Región de Atacama	81
6.4.2	Israel	81
6.4.3	España.....	81
6.4.4	Australia.....	82
6.4.5	Resumen	82
6.5	Comparación de brechas	82
6.5.1	Tecnologías de reutilización de aguas grises	82
6.5.2	Mejor utilización del agua domiciliaria	83
6.6	I + D + i	84
6.7	Discusión y recomendaciones.....	85
7	Discusión y Conclusiones	86
7.1	Benchmarking internacional	86
7.1.1	Sector Transversal.....	86
7.1.2	Sector Agrícola	86
7.1.3	Sector minería.....	87
7.1.4	Sector Sanitario.....	87
7.1.5	Sector Comunidades	88
7.2	Una gestión integrada.....	88
7.2.1	Aplicación de los principios de GIRH.....	88
7.2.2	Enfoque en la gestión de recursos hídricos por disponibilidad	89

8	Bibliografía	91
	Appendix A: Consumo Agrícola	101
	Uvas de Mesa	101
	Aceitunas	101
	Tomates	101

Figuras

Figura 4-1: Condiciones climáticas en Australia, usando la clasificación Köppen-Geiger (University of Melbourne, 2007)	38
<i>Figura 4-2: Minas y depósitos de mineral de hierro más importantes de Australia (Mudd, 2007) ...</i>	<i>39</i>
Figura 4-3: Minas y depósitos de cobre más importantes de Australia (Mudd, 2007)	40
Figura 4-4: Minas y depósitos de oro más importantes de Australia (Mudd, 2007).....	41
Figura 4-5: baja en las leyes de mineral de hierro (% Fe), incluyendo el promedio anual y de Australia para comparación.	42
Figura 4-6: Principales estados para la producción de mineral de hierro en India, incluyendo cantidades de producción en millones de toneladas (J. Crabtree, 2013)	43
Figura 4-7: Metas establecidas por el Programa Estratégico para la cuenca del río Huasco (Fuente: modificado de U de Chile, 2016)	44
Figura 4-8: Metas establecidas por el Programa Estratégico para la cuenca del río Copiapó (Fuente: modificado de U de Chile, 2016)	45
Figura 4-9: Metas establecidas por el Programa Estratégico para la cuenca del río Salado (Fuente: modificado de U de Chile, 2016)	46
Figura 4-10: Cambio a lo largo del tiempo en el uso del agua en Australia por sector	48
Figura 4-11: Agua fresca utilizada por tonelada de mineral de hierro transportada (litros) informada por la compañía australiana de la gran minería, Rio Tinto (Rankin, 2013).	51
Figura 4-12: Agua fresca utilizada por tonelada de mineral de hierro transportada (litros) (Rio Tinto, 2015)	52
Figura 4-13: Distribución de intensidad de retiro de agua para la mayoría de las minas de cobre en Australia	53
Figura 4-14: Reciclaje y reutilización de agua en minas de cobre seleccionada en Australia	54
Figura 4-15: Instalación de almacenamiento en Kidston, mina de oro en el norte de Queensland, antes (izquierda) y unos años después (derecha).....	61
Figura 4-16: Módulos flotantes en un reservorio para almacenamiento de agua a fin de reducir la evaporación para una mina de cobre australiana (de la Australian Leading Practice Guide for Water Management, prueba en la mina North Parkes, NSW, Australia).....	64
Figura 5-1: Proceso de reciclaje de agua de efluente en el Proyecto Western Corridor Recycled Water (N. Apostolidis, 2011).....	75

Tablas

Tabla 3-1: Producción por cultivo en los países analizados*	28
Tabla 3-2: Metas de dotación de agua por cultivo establecidas (fuente: modificado de U de Chile, 2016)	29
Tabla 3-3: Comparación de consumo de agua por superficie cultivada.....	30
Tabla 3-4: Comparación del consumo de agua por producción de diversos cultivos	30
Tabla 4-1: consumo de agua promedio en las minas australianas: actual y objetivos.....	50
Tabla 4-2: Comparación de uso de agua en las operaciones de la minería mediana del cobre en la Región de Atacama y Australia.....	55
Tabla 4-3: Comparación de uso de agua en grandes operaciones mineras de mineral de hierro en Huasco, Copiapó, Australia e India.....	56
Tabla 4-4: Comparación de uso de agua en grandes operaciones mineras de oro en Copiapó y Australia	57
Tabla 4-5: Tecnologías de espesantes aplicada generalmente (Williams & Williams, 2004).....	59
Tabla 4-6: Ejemplos de tecnologías de ahorro de agua para la industria minera	63
Tabla 5-1: Meta de reducción de la cantidad de agua no facturada (fuente: modificado de U de Chile, 2016)	70
Tabla 5-2: Comparación del agua no facturada como porcentaje	71
Tabla 5-3: Objetivos nacionales y calendario para la mejora de la eficiencia hídrica en el sector sanitario (Water Authority Planning Department, 2010).....	72
Tabla 6-1: Meta establecida para consumo domiciliario en Región de Atacama (fuente: modificado de U de Chile, 2016)	80
Tabla 6-2: Consumo doméstico de agua potable en la Región de Atacama para el 2013 y el 2014 (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2014)	81
Tabla 6-3: Consumo doméstico promedio de agua potable en Israel, incluyendo consumo proyectado (Planning Department of the Israeli Water Authority, 2011)	81
Tabla 6-4: Consumo doméstico promedio de agua potable en España, 2012 (Instituto de Nacional Estadística, 2012)	81
Tabla 6-5: Consumo doméstico promedio de agua potable en Australia, 2010 y 2013 (Australian Bureau of Statistics, 2016)	82
Tabla 6-6: Comparación del consumo doméstico promedio de agua potable entre los casos de estudio internacionales y la Región de Atacama, Chile.....	82

Agradecimientos

Agradecemos a CORFO ATACAMA por la entrega de sugerencias y aportes para el desarrollo del proyecto de investigación. También quisiéramos agradecer la contribución de Gertrudis Prato, Jonathan Castillo, Rodrigo Gálvez, Christian González y Camilo Prats quienes se tomaron el tiempo para reunirse con nosotros y contribuyeron con su valioso conocimiento.

1 Introducción

1.1 Antecedentes generales

Desde comienzos de 2015 CORFO Atacama está implementando el “Programa Estratégico Regional de Especialización Inteligente Cuencas Sustentables” (en adelante el Programa) cuyo objetivo es:

Impulsar una Plataforma Habilitante Hídrica para la sostenibilidad y el desarrollo económico mediante la construcción de una alianza Público-Privada en torno a las cuencas de El Salado, Copiapó y Huasco, que permita generar puentes y trabajo conjunto entre los sectores minero, agrícola y de servicios sanitarios, para que la disponibilidad de agua fresca no sea una restricción para la inversión y el crecimiento de Atacama.

A su vez, el Programa tiene como visión:

Transformar a Atacama en un referente internacional en materia de eficiencia hídrica, considerando las capacidades de I+D+i, la transferencia tecnológica, el desarrollo y atracción de capital humano avanzado, la promoción de inversiones estratégicas y la implementación de mejores prácticas de gestión.

El Informe Final de la Etapa II del Programa denominado “Identificación de Oportunidades y Levantamiento de Brechas”, elaborado por la Universidad de Chile para Corfo, desarrolla un análisis de brechas con respecto a la eficiencia hídrica en la Región de Atacama para tres sectores productivos: agrícola, minero y servicios sanitarios. Más específicamente, el Informe identifica en estos tres sectores los vacíos de i) conocimiento científico y tecnológico, ii) infraestructura tecnológica, iii) capital humano avanzado asociado a estos dos últimos componentes y iv) competitividad, que impiden el logro del objetivo que permita alcanzar la visión consensuada por el Consejo Directivo del Programa Estratégico asociado a transformar a la Región de Atacama en un referente internacional en materia de eficiencia hídrica.

La Universidad de Chile ya está elaborando el Informe de la Etapa III del Programa denominado “Diseño de la Hoja de Ruta”, del cual existe una versión preliminar que contiene refinamientos y priorizaciones de los contenidos del Informe Final de la Etapa II del Programa denominado “Identificación de Oportunidades y Levantamiento de Brechas”. De este modo, ambos informes (en adelante los Informes) son relevantes a la hora de analizar las brechas de la Región de Atacama en materia de eficiencia hídrica.

1.2 Objetivos

El objetivo general de este estudio es fortalecer la fase de identificación de brechas determinadas en el Informe Final de “Identificación de Oportunidades y Levantamiento de Brechas” y priorizadas en el Informe Preliminar “Diseño de la Hoja de Ruta”, complementando, específicamente mediante la realización de un Benchmarking Estratégico internacional con énfasis en el sector mediana minería.

Por su parte, los objetivos específicos del estudio son:

- Identificar las mejores prácticas internacionales en materia de eficiencia hídrica que permita la posterior generación de nuevas ventajas competitivas en la Región de Atacama, con especificidad en los componentes tecnológicos.
- Comparar cuantitativamente la actual gestión de recursos hídricos en la mediana minería de la Región de Atacama respecto de las prácticas internacionales identificadas y homologables.

1.3 Alcance del estudio

Las brechas a ser comparadas con la experiencia internacional en general corresponden a aquellas que fueron priorizadas por el Informe Etapa III. En aquellos casos en que a partir de la experiencia internacional se identifican como importantes algunas brechas que no fueron priorizadas en el Informe Etapa III, éstas también se incluyeron en el análisis.

Las siguientes brechas fueron consideradas para la comparación:

- *Brechas transversales:*
 - o Red hidrométrica actualizada
 - o Modelos para simular diferentes procesos físicos relacionados con el ciclo hidrológico de las cuencas y para operación dinámica de embalses
 - o Sistema/plataforma para la toma de decisiones con transmisión de datos en tiempo real
 - o Información de DAA y uso efectivo de agua¹
- *Brechas del sector agrícola*
 - o Revestimiento/entubamiento de canales
 - o Sistemas de monitoreo y transmisión de datos de humedad de suelo
 - o Sistema tecnológico de transmisión de datos para la gestión hídrica a nivel extra predial.
- *Brechas del sector minería*
 - o Disminución de evaporación desde tranques de relaves (y pilas de lixiviación)
 - o Recirculación de soluciones y regeneración de cianuro en minería de oro
 - o Eficiencia de espesadores y relaves en pasta
 - o Fortalecimiento de la red de apoyo y de fomento productivo (especialmente mediana y pequeña minería)
 - o Generación de acciones asociativas para la implementación de nuevas tecnologías y capacidades
 - o Manejo de depósitos de relave y gestión de cierre de faenas
 - o Potenciales tecnologías para el ahorro de agua en minas¹
- *Brechas del sector sanitario*
 - o Desalación/Osmosis inversa
 - o Reutilización de aguas residuales¹
 - o Métodos para reducir las pérdidas en redes¹
- *Brechas del sector comunidad*
 - Tecnologías de reutilización de aguas grises
 - Mejor utilización del agua domiciliaria²

Por su parte, en base a las características productivas y geográficas/climáticas para cada sector se eligieron los siguientes casos internacionales principales para la comparación de metas y brechas:

- Sector Transversal: Israel y Australia
- Sector Agrícola: España, California y Australia
- Sector Minería: Australia e India
- Sector Sanitario: Israel, España y Australia
- Sector Comunidades: Israel, España y Australia

¹ Estas brechas no estaban en la propuesta original y fueron incluidas luego de la revisión internacional

² La brecha "Tecnologías de circulación de aguas" originalmente especificada en la propuesta, fue considerada parte de la brecha "Mejor utilización del agua domiciliaria"

En algunos casos se sumaron resultados de otros casos internacionales que representan experiencias relevantes por sus conclusiones y/o métricas.

1.4 Estructura del informe

Las siguientes cinco secciones desarrollan el análisis de las brechas identificadas en la subsección anterior, comenzando por las brechas transversales y seguidas por las del sector agrícola, el sector minería, el sector sanitario y terminando con el sector comunidad. Por su parte, cada una de estas secciones se estructura de la siguiente manera:

- I. Antecedentes generales
- II. Casos internacionales a ser analizados
- III. Resumen de lo contenido en los informes de la Universidad de Chile
- IV. Comparación de consumos
- V. Comparación de brechas
- VI. Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)
- VII. Discusión y recomendaciones.

Finalmente el informe cierra con una sección en donde se resumen las principales reflexiones elaboradas en las secciones anteriores y con algunas ideas acerca de la relevancia de la gestión integrada del recurso hídrico para el uso eficiente del mismo.

2 Sector Transversal

2.1 Casos internacionales a ser analizados y comparados

Los principales casos internacionales que han sido elegidos para su análisis y comparación con las brechas transversales en la Región de Atacama, Chile, son: Israel y Australia. Esto se debe principalmente a su reconocida experiencia en la gestión, eficiencia e innovación hídrica, mismas que se suman a las condiciones climáticas similares a las de la Región de Atacama. Se identificaron ejemplos de prácticas, soluciones y objetivos actuales en relación con las brechas transversales, los que se describen dentro de esta sección del informe.

2.1.1 Israel³

En Israel se ha logrado una mayor eficiencia en la gestión hídrica y sus tecnologías asociadas dentro de todos los sectores a un ritmo increíble, en comparación con otros países desarrollados. Aunque casi no existe un sector minero en Israel, si se compara con la situación de Chile y Australia, el agua juega un importante rol en los sectores de la agricultura, sanitario y el uso doméstico y, por ende, sigue siendo un buen ejemplo con el cual comparar dentro de esta área que se centra en problemas más generales del ciclo hidrológico.

2.1.2 Australia

Australia entrega un ejemplo válido de lo que se debe comparar con la Región de Atacama, Chile, debido a la similitud del considerable uso que hacen las industrias de minería, agricultura, sanitaria y el sector doméstico de los escasos recursos hídricos. Asimismo, la experiencia de CSIRO Australia facilita una mejor comprensión y comparación de las brechas identificadas por la Universidad de Chile.

2.2 Resumen de lo contenido en los informes de la Universidad de Chile

En el Informe Final Etapa II: Identificación de Oportunidades y Levantamiento de Brechas (U de Chile, 2016) se han descrito y cuantificado las brechas competitivas y de componente tecnológica en base a i.) la opinión de expertos, ii.) reuniones técnicas con profesionales, y iii.) la revisión de información secundaria. Posteriormente se han propuesto indicadores para medir el avance desde la situación inicial a una situación esperada definida.

Posteriormente en el Informe Etapa III: Diseño de Hoja de Ruta (U de Chile, 2016) se priorizan las brechas, se identifican las acciones para cerrar las brechas, se establece un programa, y se proponen los Comités Gestores y los indicadores para realizar el seguimiento.

Este análisis se ha realizado para la Región de Atacama individualizando sectores económicos (minero, agrícola, sanitario, intra-domiciliario y transversal) y a su vez cuencas (Río Salado, Río Copiapó y Río Huasco). Respecto de la componente de infraestructura tecnológica se identifican las siguientes brechas y su priorización:

- Prioridad Alta:
 - o Red hidrométrica actualizada.
 - o Modelación específica.
- Prioridad media

³ Israel tiene un clima que es generalmente mediterráneo, pero es más árido interior y aproximadamente 60% de su superficie es desierto (Universia Internacional, 2012). Las precipitaciones alcanzan entre 30mm y 900mm por año en el sur y el norte respectivamente.

- Información de DAA y uso efectivo de agua.
- Sistema / plataforma para la toma de decisiones con transmisión de datos en tiempo real.
- Modelos de operación dinámica para entrega de agua en embalses.
- Vinculación entre OUA en distintas etapas de funcionalidad.
- Instancias de articulación de OUA de una misma cuenca.
- Prioridad Baja
 - Monitoreo de calidad de agua Análisis isotópico para análisis de calidad y origen de fuente de agua.
 - Sistemas de almacenamiento de agua y control de crecidas (contención, barreras, embalses). Sistemas de alerta temprana.
 - Infraestructura para la desalación. Infraestructura recarga de acuífero.
 - OUA operativas y funcionales.
 - Instancias de participación institucionalizadas y legitimadas.
 - Regulación / autorregulación a prorratas.

Sin embargo, de acuerdo con los contenidos del Informe Preliminar “Diseño de la Hoja de Ruta”, la propuesta de CSIRO y el análisis desarrollado durante el proyecto, las brechas que son analizadas son las siguientes:

- Red hidrométrica actualizada.
- Modelos para simular diferentes procesos físicos relacionados con el ciclo hidrológico de las cuencas y para operación dinámica de embalses.
- Sistema / plataforma para la toma de decisiones con transmisión de datos en tiempo real.

2.3 Comparación de brechas

La siguiente sección describirá varios casos internacionales que demuestran una gestión hídrica eficiente en relación con las brechas identificadas en las áreas que atraviesan todos los sectores del uso de agua. Cuando sea posible, se muestra el desarrollo planificado en estas áreas específicas a fin de demostrar las diferencias en la materialización entre los casos de estudio y la Región de Atacama.

2.3.1 Red hidrométrica actualizada

Esta sección discutirá el nivel de desarrollo que ha alcanzado cada país respecto de su red hidrométrica, además de las propuestas para futuras mejoras y los objetivos que formulan en este ámbito. Una parte significativa de esta sección se refiere a redes hidrométricas de la calidad del agua además de la cantidad, ya que en los casos internacionales se le da una alta importancia. Además se incluye información acerca de la infraestructura en las cuencas internacionales

El Estado de Israel cuenta con una extensa red de recolección de datos dentro de su red hídrica, lo que permite que se logre un análisis acabado de la información. Se han realizado mediciones en términos de cantidad, calidad y uso/extracción durante varias décadas y son altamente prioritarias para el Estado debido a la escasez de los recursos hídricos en la región. El régimen de recolección de datos y las variables que se usan, producen información precisa y se consideran de alta calidad comparados con los estándares globales. Considerando lo anterior, el *2011 National Water Efficiency Report* indicó que no existen mejoras planificadas para la recolección de datos y el monitoreo de su red hídrica primaria (excluyendo la red de suministro de agua) en el futuro cercano (Planning Department of the Israeli Water Authority, 2011).

En Israel, el agua potable natural proviene del Mar de Galilea y de reservas acuíferas. Las siguientes 10 variables se miden para establecer la calidad del agua: sólidos en suspensión; cloruros; nitrógeno; fósforo total; clorofila; cianobacterias; producción primaria; coliformes fecales y demanda biológica de oxígeno (BOD, por su

sigla en inglés). Por otro lado, más recientemente se han monitoreado los herbicidas, pesticidas, metales pesados y niveles de hormonas. La recolección de datos se efectúa regularmente; dependiendo de la variable que se esté midiendo, a menudo se realizan mediciones diarias. En términos de su régimen de recolección de datos, no existen mejoras planificadas por el momento, puesto que se considera la calidad de la toma de muestras es alta en relación con los estándares globales. (Planning Department of the Israeli Water Authority, 2011).

El completo sistema de recolección de datos de Israel y el análisis de sus recursos hídricos brinda un apoyo esencial al proceso de toma de decisiones. En general, la recolección de datos se realiza en forma diaria dependiendo de la variable que se monitorea. Las ventajas de un sistema de monitoreo extenso incluyen el cierre de pozos inadecuados que no cumplen con los estándares de calidad o cantidad fijados por el Estado, y también la capacidad de detectar y cerrar pozos ilegales (Planning Department of the Israeli Water Authority, 2011).

De acuerdo con la *Commonwealth Water Act 2007* de Australia, se desarrolló el *Strategic Water Information and Monitoring Plan (SWIMP)* para New South Wales (NSW) (D. Malone, 2009).⁴ Las principales metas de dicho plan tuvieron por objetivo demostrar el inventario existente de datos hídricos, especificar y priorizar las brechas estratégicas en los sistemas de datos e información, y entregar un plan de acción para las brechas priorizadas. Las cuatro áreas principales del monitoreo de datos en el estado de NSW son: cantidad de agua de superficie; nivel de agua subterránea, calidad de agua de superficie y agua subterránea y datos meteorológicos. La agenda de reforma hídrica se ha priorizado en gran medida debido a una falta de datos hidrológicos suficientes en partes de la región, y especialmente debido a la incertidumbre relacionada con los efectos del cambio climático y el aumento de los eventos climáticos extremos que han destacado la necesidad de una mejora en la cuantificación, la comprensión y gestión de sus limitados recursos. Si bien la red hídrica de NSW ya puede describirse como extensa, el gobierno da cuenta de la necesidad de llevar la recolección de datos hídricos al siguiente nivel de sofisticación, dado que piensan que esto es esencial para asegurar la gestión moderna de sus recursos hídricos (D. Malone, 2009).

En particular las reformas en temas hídricos se han enfocado en la entrega de información oportuna a los mercados hídricos dentro de la región, para asegurar la validez de la contabilidad o disposición de los recursos hídricos y mejorar la productividad del uso del agua (D. Malone, 2009). Asimismo, los esfuerzos para mejorar la inclusión de los temas medioambientales en los mercados hídricos se hacen cada vez más relevantes en la región. Las conclusiones del SWIMP reiteran el actual alto nivel de actividad de monitoreo hídrico dentro de la red en NSW y declaran los siguientes objetivos para las inversiones propuestas en el plan, necesarias para alcanzar el mayor nivel de sofisticación deseado (D. Malone, 2009):

- Lograr una recolección eficiente y confiable, y de buena calidad, de datos con la frecuencia apropiada y en momentos precisos mediante proyectos para instrumentación (registros, sensores y telemetría), un sistema mejorado para el aseguramiento de la calidad y la gestión de base de dato.
- Proveer datos e información de alta calidad al Bureau mediante un sistema estandarizado y automatizado eficiente.
- Mejorar el valor de los datos que se capturan, gestionan y entregan mediante referencia espacial y vertical, y mejora de la funcionalidad de la base de datos de agua subterránea.
- Recuperar las significativas inversiones realizadas en datos de agua y mejorar su efectividad mediante la mejora del detalle descriptivo y el contexto en formato electrónico.

⁴ NSW en Australia tiene un clima mediterráneo; al oeste, en sus montañas más importante (The Dividing Range) el clima es más árido (Australia Tourism, 2016). Las precipitaciones alcanzan entre 150mm y 500mm por año en la mayoría de este territorio.

- Aprovechar las inversiones en captura, cobertura y fiabilidad de los datos junto con una comprensión y conceptualización mejorada del balance hídrico, para la contabilización hídrica y las evaluaciones de recursos hídricos contemporáneos.

La calidad del agua es un aspecto de la red hidrométrica muy importante en los casos internacionales. New South Wales (NSW), en Australia, sirve de sede a la mayor agencia de monitoreo hídrico del país, con más de 5.000 estaciones de monitoreo de agua ubicadas en arroyos, ríos, reservorios y fuentes subterráneas, las que miden tanto su cantidad como calidad. Se usa tecnología electrónica digital en aproximadamente 900 de estas estaciones a fin de entregar datos en tiempo real aplicando un monitoreo continuo de estas fuentes de agua. En general, se realizan mediciones cada 15 minutos en los sitios de monitoreo digital y los datos se transportan a la ubicación central para procesamiento cada hora. Recientemente, la Office of Water en Australia lanzó una aplicación para teléfonos móviles que permite al público general tener acceso a estos datos en tiempo real en NSW, mostrando resultados como los niveles de salinidad, entre otras mediciones de calidad (NSW Government, 2013). Este tipo de desarrollos entregan al público general una mayor transparencia respecto de la gestión de sus recursos hídricos y como resultado es posible que incentive a mayores mejoras en la calidad del agua.

Una reciente historia breve de recolección de datos de agua en Australia y, específicamente, en NSW, entregan una visión respecto del actual estatus del país en términos de la brecha que se analiza. El Water Resources Council de NSW aprobó la *Cooperating Agency Policy on Water Data Management* (Política de Agencia de Cooperación para Gestión de Datos Hídricos) en 1991, la que destacaba el requerimiento y las oportunidades ligadas a la creación de relaciones entre agencias a fin de compartir datos de recursos hídricos y además, entregar al público un acceso adecuado a los datos (Wright & Malone, 1991). Tras instaurarse esta política, que en 2009 marcó casi 20 años de vigencia, el gobierno regional de NSW publicó *The Strategic Water Information and Monitoring Plan*, que se ha mencionado anteriormente, el que detalló lo siguiente (NSW Government, 2009);

- Descripción del inventario actual de datos.
- Brechas estratégicas en sistemas de datos e información.
- Priorización de brechas de datos y sus respectivas estrategias y acciones.

En consecuencia, una parte del informe cubrió brechas en las mediciones de la calidad del agua, destacando las consecuencias de la contaminación antrópica de los recursos hídricos como amenaza para la salud humana y el medioambiente y la promoción del uso de los datos para asegurar la conciencia y la gestión efectiva de los problemas. Las brechas establecidas en los datos de la calidad del agua y los sistemas incluidos (NSW Government, 2009) son:

- Red de monitoreo de calidad de agua inadecuado respecto de los parámetros físicos/químicos para el agua en superficie.
- Monitoreo inadecuado para las algas verde-azuladas
- Mapeo espacial inadecuado de la red de calidad del agua

En particular, tras su análisis, se determinó que los datos ambientales de calidad del agua recibían una prioridad media.

Un informe de Glasgow et al. (2004), respecto del monitoreo remoto en tiempo real (RTRM, por su sigla en inglés) de la calidad del agua, analiza sus aplicaciones en el mundo. El estudio sugiere que los avances recientes en comunicaciones inalámbricas, tecnología de sensores y computación portátil permite la adquisición, procesamiento y transmisión de una variedad de datos respecto de la calidad del agua, desde terreno o en forma remota. Asimismo, los sistemas RTRM han mejorado mediante la incorporación de tecnologías de monitoreo basadas en moléculas y organismos vivos, lo que permite responder a un mayor espectro de contaminantes y otros parámetros. Se ha indicado que las agencias gubernamentales, científicos e industrias

de todo el mundo han desarrollado y desplegado sistemas RTRM integrados para la adquisición tanto de datos medioambientales como para geolocalización. Una base de datos centralizada se hace posible mediante la recolección automatizada y la diseminación de datos basada en la web, lo que permite un acceso fácil para todos quienes se interesan en la calidad del agua. (H. Glasgow, 2004).

En la Cuenca Murray-Darling (MDB), Australia, hay más de 80 represas o embalses con una capacidad de almacenamiento de más de $10 \times 10^6 \text{ m}^3$, la mayoría de los cuales fueron construidos antes del año 1980 (Haisman, 2004). El propósito de estos embalses varía desde generación de energía hidroeléctrica a recreación o para el control de inundaciones, por ejemplo. Mientras que los embalses tienen el potencial a mejorar la gestión de los recursos hídricos, ha habido muchos impactos negativos sobre el medioambiente y las comunidades debido a sus construcciones en Australia como en muchos países alrededor del mundo. La primera razón de impactos es debido a la modificación del régimen en la cuenca como consecuencia de la retención del flujo de agua. Particularmente la salinidad y la erosión son problemas grandes en las cuencas de Australia. En los últimos años ha habido un enfoque hacia estrategias para asegurar los flujos ambientales o caudales ecológicos por parte del Gobierno de Australia. CSIRO en colaboración con la autoridad del Murray Darling Basin (MDBA) ha desarrollado The River Murray Floodplain Inundation Model (RiM-FIM) que apoya la toma de decisiones en la gestión de flujos ambientales. Las obras para realizar recarga artificial de acuíferos también son una alternativa para mejorar la gestión de los impactos en el medioambiente y al mismo tiempo que proporcionan una solución sustentable para la cuenca. En Israel hay obras que usan parcialmente aguas residuales tratadas en la recarga de sus acuíferos, que proporcionan un tratamiento natural por medio de la infiltración (Kanarek & Michail, 1996).

2.3.2 Modelos para simular diferentes procesos físicos relacionados con el ciclo hidrológico de las cuencas y para operación dinámica de embalses

Para propósitos de este estudio, se han combinado los modelos del ciclo hidrológico y de reservorios. Esto se debe a la creciente utilización de modelos integrados, que combinan todos los aspectos hidrológicos e hidráulicos de la cuenca para entregar un análisis más completo con el objetivo de mejorar el proceso de toma de decisiones.

El Water Evaluation and Planning (WEAP) es un sistema que ha sido utilizado para la **Cuenca del Río Jordán**, una fuente hídrica transfronteriza que atraviesa Israel, Jordania, Siria, Palestina y el Líbano.⁵ La herramienta WEAP utiliza datos hidrológicos a fin de simular los procesos de la cuenca con precisión. Se habilita un enfoque de análisis integrador mediante la combinación de información basada en demanda y oferta con la simulación de escenarios de ciclo hidrológico de la cuenca. Es posible ingresar una amplia gama de temas e incertidumbres al modelo, incluyendo cambios en la demanda relacionados con clima, población, infraestructura y ecosistema. Este sistema en particular fue seleccionado para la cuenca del Río Jordán debido a su adaptabilidad a los escenarios, lo que puede facilitar un compromiso equilibrado entre los objetivos operacionales opuestos que han sido propuestos por legisladores y otras partes interesadas (Hoff, 2011).

La simulación y la estimación de procesos fluviales y de cuenca usando modelos numéricos basados en hidrología han sido aplicadas durante muchos años en toda Australia. La gestión diaria de recursos hídricos en la **cuenca Murray-Darling (MDB)** en Eastern Australia cuenta con el apoyo de modelos esenciales de todo el sistema. Los extensos modelos desarrollados para la cuenca se usan para mejorar la eficiencia y efectividad de la gestión de la cuenca, a la vez que contribuyen a una mayor transparencia para las partes interesadas. Se ha desarrollado un enfoque de modelo integrado para esta cuenca fluvial, el que combina procesos tanto

⁵ La precipitación promedio en la Cuenca del Río Jordán es 380mm (Food and Agriculture Organization of the UN, 2009).

hidrológicos como hidráulicos para crear una herramienta avanzada y más precisa que facilita la toma de decisiones (Murray–Darling Basin Authority, 2012).⁶

Con el fin de alcanzar un desarrollo de la cuenca con comunidades vibrantes, industrias productivas y resilientes, y ecosistemas saludables y diversos, la Murray-Darling Basin Authority ha hecho esfuerzos para lograr un equilibrio entre las necesidades hídricas de las comunidades y las industrias, y la necesidad de proteger y restaurar los valores ecológicos y otros valores de los ecosistemas que dependen del agua en un estado saludable.

El Plan de Cuenca propuesto tiene límites de extracciones sostenibles en el largo plazo (SDL, por su sigla en inglés), los que deben hacerse efectivos en el 2019, junto con un grupo de otras medidas que mejorarán la gestión hídrica de la cuenca. Los SDL propuestos son límites sobre los volúmenes de agua que se pueden extraer en la cuenca para uso antrópico (incluyendo usos domésticos, urbanos, agrícolas, etc.) y se determinan sobre la base de la evaluación del nivel de extracción medioambientalmente sostenible (o ESLT, por su sigla en inglés). Para establecer la extracción sostenible de una (sub)cuenca, el MDBA construyó decenas de modelos hidrológicos integrados que fueron desarrollados realizando periódicamente consultas con las partes interesadas, para que los modelos contaran con la validación de todas las partes y por tanto se respetaran como herramientas de toma de decisiones respecto de la cantidad de agua disponible para el uso en actividades antrópicas (CSIRO, 2016).

Los objetivos del uso de modelos y enfoque de gestión integrados en la MDB son (GHD, 2012):

- Mejora del uso, medición y responsabilidad respecto del agua.
- Aumento de eficiencia en el uso para agricultura de regadío y suministro para el medioambiente.
- Ayuda para una mejora en la entrega de agua para riego, uso urbano o medioambiental (lugar correcto, momento adecuado y volumen indicado) en sistemas regulados y no regulados.
- Confirmar ahorros en agua.
- Comprender y mejorar el control de los mayores flujos asociados con el Plan de Cuenca, incluyendo las implicaciones de abordar las restricciones del sistema.
- Mayor transparencia y datos en tiempo real para ayudar y guiar la generación de políticas hídricas.

Se ha desarrollado un sistema de modelación acoplada para la **cuenca del Río Grande**, que pasa por Colorado, Nuevo México y Texas en Estados Unidos y también por México.⁷ El principal objetivo de este desarrollo es mejorar la comprensión del ciclo hidrológico y la influencia que tiene sobre los recursos hídricos dentro de la cuenca. El sistema acoplado integra modelos existentes, que incluyen (K. Costigan, 2001):

- Modelo de hidrología de superficie para simular infiltración de superficie, escurrimiento y evapotranspiración.
- Modelo de hidrología de sub-superficie para simular recarga y uso de acuífero, y la interacción de ríos y acuíferos.
- Modelo fluvial para simular flujos en cauces.
- Modelo atmosférico para simular variables de precipitación y meteorología.
- Este sistema integrado se puede usar para simular el actual régimen del ciclo hidrológico y también para predecir el impacto del cambio climático en el ciclo.

⁶ La cuenca cubre 1,062,025 km² o casi 14% del área total de Australia continente. Los estados en la cuenca incluyen Victoria, New South Wales (NSW), South Australia (SA), Queensland (QLD) y Australian Capital Territory (ACT). El clima es muy variable desde el subtropical en el norte, húmedo en el este, templado en el sureste y semi árido y árido en el oeste. (Murray Darling Basin Authority, 2016)

⁷ El clima de esta cuenca es semi-árido.

2.3.3 Sistema / plataforma para la toma de decisiones con transmisión de datos en tiempo real

El Water Evaluation and Planning (WEAP) es un sistema para la toma de decisiones que ha sido utilizado para la Cuenca del Río Jordán. El sistema WEAP es una herramienta de planificación que consolida datos relacionados con agua y que puede simular la gestión y la asignación de escenarios actuales y futuros para la cuenca. La compleja naturaleza transfronteriza de esta cuenca requiere de un sistema flexible y amistoso con el usuario para hacer participar a todos quienes toman decisiones y a las partes interesadas en un proceso de planificación abierto. Este sistema en particular se ha usado en muchas cuencas fluviales en todo el mundo con el objetivo de aportar a la colaboración entre las partes interesadas en la planificación de recursos hídricos (Hoff, 2011).

El gobierno de New South Wales (NSW) ha implementado el *Hunter Integrated Telemetry System (HITS)*, destinado principalmente a mejorar la gestión del sistema fluvial. La tecnología HITS es una forma de Control de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA, por su sigla en inglés), la que recolecta datos automáticamente en tiempo real desde sitios de monitoreo remoto en la región. Generalmente, los datos que se recolectan incluyen: nivel del agua, salinidad y temperatura y a menudo intensidad de lluvia caída. Si bien este sistema ha sido creado para beneficiar a todos los usuarios hídricos en el área, se ha registrado un enfoque particular para asegurar la inclusión del medioambiente como el principal usuario hídrico. Los datos se recolectan en tiempo real, con intervalos tan cortos como cada 5 minutos en muchos casos. Los datos generados desde los sitios de telemetría se usan principalmente para monitorear el agua que se libera de las represas, así como la descarga de agua salina por parte de la industria y para entregar avisos tempranos de potenciales inundaciones (NSW Government, 2016).

En respuesta a la *Commonwealth Water Act 2007*, el Bureau of Meteorology of the Australian Government desarrolló herramientas y tecnologías para proveer sistemas de información hídrica nacionales, contabilidad de agua (ver siguiente sección para obtener detalles), y proyecciones hídricas. Los investigadores desarrollaron las herramientas para información y pronóstico hídrico en el corto plazo (SWIFT, por su sigla en inglés), las que generan proyecciones de flujo continuas en el corto plazo, con siete a diez días de anticipación. SWIFT usa proyecciones de lluvia caída actualizadas a diario a fin de producir un conjunto de pronósticos, que van desde flujos posibles e indican el flujo más probable. En el 2010, el Bureau también lanzó el servicio Seasonal Streamflow Forecasting. Los pronósticos estacionales predicen la cantidad de agua que se espera fluya hacia los ríos y los sistemas de almacenamiento de agua. Las proyecciones de flujo estacional con predicciones de varios meses pueden influenciar decisiones importantes tales como (Bureau of Meteorology, Australian Government, 2016):

- Asignaciones de agua
- Estrategias de cultivos
- Planificación en mercado hídrico
- Uso de agua para medioambiente
- Operación de un esquema de suministro de agua diversificado
- Restricción de suministro de agua
- Gestión de sequía

2.3.4 Información de DAA y uso efectivo de agua

El Bureau of Meteorology de Australia desarrolló también una Cuenta Hídrica Nacional en conjunto con las agencias hídricas de cada Estado, proyecto realizado en respuesta a la *Commonwealth Water Act 2007* la que requiere que el Director de Meteorología publique dicha cuenta anualmente, de un modo que sea de fácil acceso para el público. La cuenta reúne información hidrológica y financiera, entregando flujos y nivel de almacenamiento de agua, uso y derechos de agua, además de volúmenes de agua extraída, gestionada y

transada para beneficios económicos, sociales, culturales y medioambientales. Se requiere de un marco de tiempo de unos 10 años para desarrollar una cuenta nacional madura que luego puede mejorar en forma continua (Australian Government: Bureau of Meteorology, 2015).

En Israel, se ha habilitado un sistema de monitoreo acabado para el agua suministrada para cada industria dentro del Estado. Los volúmenes de agua consumida se cuantifican mediante un sistema de medición por industria en el sector industrial, por lote en el sector agrícola y por casa en el sector doméstico, lo que entrega una comparación de agua suministrada versus el agua que llega a cada sector (Planning Department of the Israeli Water Authority, 2011).

2.4 I + D + i

El gobierno de Israel ha implementado numerosas estrategias y políticas a lo largo de varias décadas, con el fin de asegurar el suministro continuo de agua potable y para asegurar un consumo sostenible de agua. Las medidas más destacadas incluyen: el reciente *National Long-Term Master Plan* para el Sector Hídrico de Israel y las innovaciones, en especial en la eficiencia del uso del agua, gestión de demanda, provisión de una fuente de agua potable suplementaria y varios programas de apoyo gubernamental. Un programa en particular, el *Israel NewTech*, ha estado promoviendo al país como un líder global en tecnología hídrica mediante inversiones en investigación y desarrollo, capital humano, marketing, crecimiento de empresas nuevas y actividad internacional. El OECD Observer (2015) indica que este programa ha alcanzado “gran éxito en el desarrollo local y la exportación global de las innovadoras tecnologías hídricas de Israel”, y alaba a Israel por el continuo apoyo entregado a las tecnologías, los métodos innovadores y la gestión holística de recursos hídricos.

En años recientes, Australia ha invertido sumas considerables en investigación y desarrollo dentro de todos los sectores de la industria hídrica. Un ejemplo de esto queda demostrado con el número de Organizaciones y Centros de Excelencia dedicados a mejorar la gestión hídrica sostenible en el país y el resto del mundo. Un ejemplo es el International Centre of Excellence for Water Resource Management (ICE WaRM), enfocado en la entrega de educación, programas de capacitación e investigación de alto nivel en el área de gestión de recursos hídricos, y que ha contado con la colaboración de CSIRO Australia (ICE WaRM, 2016).

El informe *Sustainable Water Management* realizado por el Australian Research Council (2012), explora un marco de trabajo para adaptarse a futuros desafíos y entregar una gestión hídrica sostenible mediante la adopción de principios de crecimiento verdes. Los objetivos subyacentes de este informe son la mejora de la productividad, prosperidad económica y el avance en los resultados medioambientales y sociales.

Varias iniciativas principales (*Flagship*) para mejorar la gestión hídrica en Australia han sido desarrolladas por CSIRO, incluyendo las iniciativas *Sustainable Agriculture Flagship* y *Water for a Healthy Country Flagship*. Esta última apunta a generar ganancias económicas de AUS\$3 mil millones por año antes del 2030, a la vez que restaurar y proteger los grandes ecosistemas hídricos de Australia (Australian Trade Commission, 2013). Si bien el principal objetivo de estas iniciativas nacionales de investigación es entregar soluciones para mejorar la gestión de recursos hídricos, se considera que un enfoque participativo es vital para alcanzar este objetivo. En consecuencia, las iniciativas principales reúnen a los científicos de CSIRO con otras instituciones de investigación, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, grupos comunitarios y empresas privadas.

La primera auditoría realizada a la disponibilidad de agua actual y futura en la cuenca Murray-Darling fue completada por la iniciativa *Water for a Healthy Country Flagship* de CSIRO. Esto quedó registrado como el primer intento a nivel mundial destinado a estimar el alcance de los variados impactos sobre los recursos hídricos a nivel de cuenca, con un costo de AUS\$12 millones (Australian Trade Commission, 2013). Los impactos específicos que se incluyeron en la investigación son:

- Desarrollo de la cuenca
- Cambio en la extracción de agua subterránea

- Variabilidad climática
- Predicción del cambio climático

La Dirección General del Agua en España publicó recientemente el informe *Innovación e Investigación en el sector del agua: Líneas Estratégicas*, con la idea de cumplir las estrategias propuestas para el 2030. El informe cubre una amplia gama de información, incluyendo:

- Gestión de recursos hídricos
- Temas sociales, económicos y medioambientales a una escala de cuenca
- Ingeniería y desarrollo de nuevas tecnologías
- Procesos y métodos de evaluación
- Simulación y gestión de servicios en relación con la reutilización del agua

Tras la identificación de los desafíos en el sector hídrico de España, el gobierno español ha creado cinco objetivos fundamentales:

- I. Satisfacer de forma eficiente las demandas de agua, para favorecer el desarrollo sectorial y regional, la creación del empleo y el bienestar social.
- II. Alcanzar y mantener en buen estado las masas de agua y los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados.
- III. Mejorar la gestión de las sequías e inundaciones y la adaptación al cambio climático.
- IV. Incrementar la eficiencia operativa y normativa en la gestión del agua, mediante un enfoque integrado y una mejor gobernanza.
- V. Definir los instrumentos económicos y financieros necesarios para el mantenimiento de las infraestructuras e instalaciones del ciclo del agua.

2.5 Discusión y recomendaciones

En los casos internacionales revisados en general el principio subyacente es la gestión integrada de recursos hídricos a nivel de cuenca. Se ha visto que para entender las complejas relaciones de causalidad y predecir posibles consecuencias de las condiciones climáticas y/o las acciones antrópicas existen numerosos ejemplos de modelos que integran los diversos procesos hidrológicos e hidráulicos de la cuenca, y que también estudian las interacciones con variables sociales y económicas.

Tanto en el caso de Australia como en el caso de Israel la modelación se ha desarrollado en base a una adecuada información hidrométrica, tanto en calidad de la información como en su disponibilidad. Esta información hidrométrica permite calibrar y validar los modelos y dar confiabilidad a su capacidad predictiva. En los casos internacionales revisados para Israel y Australia, la información hidrométrica juega un rol fundamental y central en la gestión de los recursos. Además del control de la cantidad y calidad de los recursos, la medición de las extracciones y del uso efectivo de agua, así como el seguimiento de los derechos de aprovechamiento de aguas y las transacciones de agua son parte de la información hidrométrica en ambos casos.

Los ejemplos de sistema de soporte a la decisión revisados en general se basan sobre los resultados de una modelación y/o las mediciones hidrométricas realizadas. En este sentido, solo una vez que se conoce el estado del sistema y su funcionamiento se puede hacer gestión.

A la luz de los casos revisados resulta sensato dar prioridad a mejorar las redes hidrométricas y sistemas de información (incluyendo las medidas de uso efectivo y el seguimiento de derechos y transacciones de agua) y a los modelos de simulación, para luego implementar sistemas de soporte a la toma de decisiones.

En el ejemplo australiano del desarrollo de modelos integrados para la Murray-Darling Basin Authority se hace mucho énfasis en los esfuerzos realizados para que las capacidades predictivas de los modelos fueran aceptadas por los diversos stakeholders. La validación de los modelos por parte de los stakeholders es considerado un requisito para que éstos se puedan utilizar en la toma de decisiones. En este sentido se sugiere incentivar la participación de las OUA específicamente y las partes interesadas en general en el desarrollo de los modelos.

La implementación, operación y mantenimiento de las redes hidrométricas, así como la captura y la gestión de la información generada requerirán importantes desarrollos de profesionales y técnicos instrumentistas, electrónicos e informáticos. Asimismo, el análisis de esta información y su interpretación requerirá de profesionales de las áreas de conocimiento de meteorología, hidrología, hidrogeología, hidráulica y modelación numérica. Finalmente, la gestión de los recursos requerirá de equipos multidisciplinares que además de los anteriores incluyan profesionales de las áreas de biología, sociología y economía.

3 Sector Agrícola

3.1 Antecedentes generales

La actividad agropecuaria en la Región de Atacama aportó a un 1,9% del PIB regional entre los años 2008 y 2013. Sin menoscabo de ello, es un sector relevante debido a que generó un 5% del empleo directo de la región entre el 2014 y 2015. A su vez, el sector agropecuario es el principal usuario de recursos hídricos con más del 60% del uso total de agua. Actualmente se explotan alrededor de 19.000 ha de las 30.000 ha aprovechables para el cultivo (SENCE, 2013).

3.2 Casos internacionales a ser analizados y comparados

Los casos internacionales que han sido elegidos para análisis y comparación con la industria agrícola en la región de Atacama, Chile, no solo requieren de condiciones climáticas y de disponibilidad de agua similares, pero a la vez requieren de una producción agrícola similar. En consecuencia, los países elegidos para este estudio son España, E.E.U.U. (específicamente, los estados de California y Texas) y Australia. Se incluye un breve resumen del rol que cumplen en la producción de uno o más de los cultivos indicados, con la mayor parte de los datos proveniente de la base de datos de estadística de las Naciones Unidas.

3.2.1 España

España es uno de los mayores productores mundiales de uva de mesa, con una producción superior a las 300.000 toneladas anuales de uvas de mesa en un área superior a las 21.000 hectáreas (J. Faci González, 2008). Las principales variedades de uva de mesa producidas son: Aledo, Ideal (a menudo conocida como Italia), Rosetti y Muscatel (Foods & Wines from Spain, 2016).

De acuerdo con las estadísticas más recientes incluidas en la base de datos de las Naciones Unidas, la producción de aceitunas y tomates en España en el 2014 alcanzó cerca de 4.600.000 toneladas y 3.700.000 toneladas, respectivamente (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016). Las principales variedades de aceitunas en España son: Manzanilla, Gordal Sevillana y Azofairon (Infoagro, 2016).

3.2.2 Estados Unidos

California produce alrededor del 97% del total de uvas de mesa cultivadas en Estados Unidos (USDA, 1999) con más de 80 variedades de uvas diferentes (California Table Grape Commission, 2015). La tendencia de la producción sigue estando al alza y en total, los E.E.U.U. produjo 983.650 toneladas de uva de mesa en el 2015 (Index Mundi, 2015). Las principales variedades cultivadas en esta región son las uvas de mesa Thompson sin Semilla y Flame sin Semilla (NSF Center for Integrated Pest Management, 1999).

En los Estados Unidos las estadísticas de las Naciones Unidas muestran una producción cercana a las 94.000 toneladas de aceitunas y 12.600.000 toneladas de tomates en el 2014 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016). Gran parte de las aceitunas y tomates cultivados en Estados Unidos provienen de los estados de California y Texas (Yara, 2015); (American Olive Oil Producers Association, 2014). En California, las principales variedades de aceitunas son: Mission, Manzanillo, Sevillano y Ascolano (Olive Oil Source, 2016).

3.2.3 Australia

Si bien no se considera como uno de los productores más conocidos de uva de mesa, la industria en Australia sigue creciendo y su producción se ubica en cerca de las 120.000 toneladas por año (Australian Table Grape

Association Inc, 2009). Las cuatro principales variedades de uvas de mesa producidas son: Thompson sin Semilla, Menindee sin Semilla, Crimson sin Semilla y Red Globe (Australian Table Grape Association Inc, 2012).

Aunque Australia produce aceitunas y tomates, la actividad en estas industrias es considerablemente menor a la registrada en España y Estados Unidos; no obstante, las producciones se pueden comparar muy bien con las cifras obtenidas en Chile, con cerca de 94.000 y 456.000 toneladas, respectivamente (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016). Las principales variedades de aceitunas cultivadas en Australia son: Manzanillo, Kalamata, Hardy's Mammoth y Sevillana (Olive Australia, 2016).

3.2.4 Resumen

La siguiente tabla resume la producción de cultivo para los casos internacionales de estudio seleccionados y para Chile.

Tabla 3-1: Producción por cultivo en los países analizados*

	Uva de mesa		Aceitunas		Tomates
	Producción (ton)	Principales Variedades	Producción (ton)	Variedad	Producción (ton)
Chile	925.000	Red Globe, Thompson sin Semilla y Flame Sin Semilla	80.000	Sevillana y Arbequina	371.000
España	300.000	Aledo, Ideal (Italia), Rosetti y Muscatel	4.600.000	Manzanilla, Gordal Sevillana y Azofairan	3.700.000
EE.UU.	983.650	Thompson sin Semilla y Flame Sin Semilla	94.000	Mission, Manzanillo, Sevillano y Ascolano	12.600.000
Australia	120.000	Thompson sin Semilla, Menindee Sin Semilla, Crimson Sin Semilla y Red Globe	98.000	Manzanillo, Kalamata, Hardy's Mouth y Sevillana	456.000

* Las cantidades de aceitunas y tomates producidos en Chile se obtuvieron de la base de datos estadísticos de las Naciones Unidas y para la uva de mesa de Index Mundi. Para los demás países la fuente de información se indica en las secciones previas.

3.3 Resumen de lo contenido en los informes de la Universidad de Chile

En el Informe Final Etapa II: Identificación de Oportunidades y Levantamiento de Brechas (U de Chile, 2016) se han descrito y cuantificado las brechas competitivas y de componente tecnológica en base a i.) la opinión de expertos, ii.) reuniones técnicas con profesionales, y iii.) la revisión de información secundaria. Posteriormente se han propuesto indicadores para medir el avance desde la situación inicial a una situación esperada definida.

Posteriormente en el Informe Etapa III: Diseño de Hoja de Ruta (U de Chile, 2016) se priorizan las brechas, se identifican las acciones para cerrar las brechas, se establece un programa, y se proponen los Comités Gestores y los indicadores para realizar el seguimiento.

Este análisis se ha realizado para la Región de Atacama individualizando sectores económicos (minero, agrícola, sanitario, intra-domiciliario y transversal) y a su vez cuencas (Río Salado, Río Copiapó y Río Huasco).

La situación actual y las Metas a 5-10 años establecidas para las cuencas del río Huasco y el río Copiapó se presentan en *Tabla 3-2*.

Tabla 3-2: Metas de dotación de agua por cultivo establecidas (fuente: modificado de U de Chile, 2016)

[m ³ /ha/año] x 1000	Cuenca río Huasco		Cuenca río Copiapó	
	Situación Actual	Situación Esperable*	Situación Actual	Situación Esperable*
Uva de Mesa	11-15	7-8	11-15	7-8
Olivo	7-9	3-4	7-9	3-4
Vid Pisquera	8	4	8	4
Tomate			9	6-7

* Situación esperable en un plazo de 5-10 años

Las brechas identificadas para la cuenca del río Huasco y las del río Copiapó son similares, mientras que en el río Salado no hay actividad agrícola significativa. Respecto de la componente de infraestructura tecnológica se identifican las siguientes brechas y su priorización:

- Prioridad Alta:
 - o Revestimiento / entubamiento de canales
 - o Sistema de monitoreo y transmisión de datos de humedad de suelo
- Prioridad Media:
 - o Sistema tecnológico de transmisión de datos para la gestión hídrica a nivel extrapredial
 - o Diseño de sistemas de riego adaptado a las condiciones edafoclimáticas del cultivo / riego localizado alta frecuencia / goteo (doble línea de goteros) -> estudio de suelos
- Prioridad baja
 - o Monitoreo intrapredial a nivel de cuenca mediante telemetría

Sin embargo, de acuerdo con los contenidos del Informe Preliminar “Diseño de la Hoja de Ruta”, la propuesta de CSIRO y el análisis desarrollado durante el proyecto, las brechas que son analizadas son las siguientes:

- Revestimiento / entubamiento de canales
- Sistema de monitoreo y transmisión de datos de humedad de suelo
- Sistema tecnológico de transmisión de datos para la gestión hídrica a nivel extrapredial

3.4 Comparación de consumos

A fin de realizar una comparación efectiva de la situación en la Región de Atacama, cuando ha sido posible, se han buscado las cifras de consumo de agua para cada tipo de cultivo en los casos internacionales. Esto también permitirá interpretar si los objetivos deseables de consumo fijados por el estudio de la Universidad de Chile son razonables. En primera instancia y para comparar los usos actuales y metas definidas en el informe de la Universidad de Chile, se recopilan datos del consumo de volumen de agua por superficie cultivada [m³ de agua / ha de cultivo / año]. Sin embargo, el uso eficiente del agua realmente queda mejor definido en términos del consumo de agua por masa de cultivo producido [m³ de agua / ton de cultivo]. A continuación se presenta un resumen de los consumos de agua por cultivos. Una descripción detallada de los consumos de agua para diversos cultivos y regiones se encuentra en el Apéndice A.

3.4.1 Resumen

Un resumen de los consumos de agua en casos internacionales y de la Región de Atacama para cada cultivo agrícola se muestra en las tablas siguientes. Se observa que, en términos del uso de agua por unidad de superficie de tierra (*Tabla 3-3*), la Región de Atacama no es muy eficiente en comparación con los casos internacionales. Sin embargo, en términos del uso de agua por unidad de masa de cultivo producido, el ejemplo recogido para el sector agrícola de la Región de Atacama es eficiente (*Tabla 3-4*).

Tabla 3-3: Comparación de consumo de agua por superficie cultivada

[m ³ /ha/año] x 1.000	Uvas de Mesa	Aceitunas	Tomates
España	2,8 – 5,7	2 - 7	3,5 – 6,5
EEUU California	6 – 7	10	5,5 - 8
Australia		5,5 - 10	6
Atacama (Situación Actual)	11 – 15	7 - 9	9
Atacama (Situación Deseable)*	7 – 8	3 – 4	6 - 7

* Situación esperable en un plazo de 5-10 años

Tabla 3-4: Comparación del consumo de agua por producción de diversos cultivos

m ³ de H ₂ O / ton Cultivo	Uvas de Mesa	Aceitunas	Tomates
España	300 - 600	450 - 1500	107,5 - 151,3
California			
Australia	684,9	319,5 - 1934	161,3
Sudáfrica	213 - 322,6		
Mediterránea		500 - 666,7	125
Atacama*	333,3 – 454,5	384,6 – 526,3	

*Fuente: Universidad de Chile (2015) en el Proyecto “UCHILECREA: un centro que innova en la agricultura de Atacama” que mostró la producción por m³ de agua para 26 productores de aceitunas y uvas de mesa en 2014 y en 2015 después de su intervención para mejorar la eficiencia del agua.

3.5 Comparación de brechas

La siguiente sección describirá una cantidad de casos internacionales que demuestra una gestión eficiente del agua en el sector agrícola en relación con las brechas identificadas. Según se indicó anteriormente, los países elegidos para el sector agrícola producen uva de mesa, aceitunas y tomates, lo que permitirá una comparación más concisa entre estos casos internacionales y la Región de Atacama.

3.5.1 Revestimiento / entubamiento de canales

Un importante programa de inversión tuvo lugar en **España** con el fin de modernizar sus sistemas de irrigación, como parte del Plan Nacional de Riego (2002 – 2008), el que siguió desarrollándose mediante el Plan de Emergencia para la Modernización del Riego (2006 – 2008) debido a la sequía extrema registrada en 2004 – 2005 (C. Scott, 2014). La baja eficiencia de los sistemas de riego tradicional en España fue el resultado de sustanciales pérdidas de agua en antiguas redes transportadoras (Barbero, 2006). El enfoque de estos planes dejó atrás los grandes proyectos de infraestructura, tales como embalses o trasvases de agua, dado que descubrieron que resultaba más económico por m³, especialmente cuando se consideraban aspectos ambientales y sociales en la evaluación. El revestimiento y entubamiento de viejos canales ocupó una parte importante de esta modernización, además de la mejora de las instalaciones de almacenamiento, el sistema de riego y un enfoque en las prácticas de riego, incluyendo la capacitación a los agricultores. Se tomó en cuenta una visión integrada de la eficiencia en la gestión de agua, mediante la aplicación paralela de mejoras a nivel de instalaciones río arriba, río abajo y en predios. (Gunn-Lopez, 2012). En el caso de la cuenca del Guadiana, en el suroeste de España, se invirtieron 600 millones de euros (C. Scott, 2014).

Como resultado de una severa sequía registrada en los años '90 en el Valle Imperial, **California, E.E.U.U.**, el Distrito de Riego de Imperial (IID, por su sigla en inglés) se propuso mejorar el uso del agua en su cuenca fluvial (C. Scott, 2014). Las medidas implementadas incluyeron el revestimiento de canales, la conservación de agua en las granjas, mediante dispositivos tales como aspersores de riego y sistemas automatizadas de monitoreo y control. Se estimó que el método de conservación de agua más económico era el revestimiento de canales, con un costo de entre USD 10.500 a 12.200/Mm³ (Imperial Irrigation District (IID), 2007).

3.5.2 Sistemas de monitoreo y transmisión de datos de humedad de suelo

En algunas partes de los Estados Unidos, la programación del riego se calcula basándose en la información obtenida del contenido de humedad del suelo. Los sensores comunes disponibles son las sondas de neutrones y los sensores de capacitancia, que se pueden usar en conjunto con planillas de evapotranspiración (ET) a fin de ofrecer una estimación precisa de los requerimientos de riego (C. Shock, 2013). En el Distrito de Riego de Harlington, en Texas, E.E.U.U., un proyecto destinado a crear una red de distribución de agua de riego de "última generación" incluyó el diseño de una Unidad de Telemetría Remota (RTU) de bajo costo para medir la humedad del suelo y la gestión del nivel del agua usando telemetría por radio (Water Resorces Group, 2012).

Un informe reciente sobre Líneas Estratégicas de Innovación e Investigación en el Sector del Agua realizado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España (2015) incluye tecnologías destinadas a modernizar el sector agrícola, en términos de mejoras de eficiencia en el transporte, distribución y aplicación del agua. Esto incluye las tecnologías relacionadas con la medición de la humedad del suelo.

De acuerdo con el Departamento de Agricultura y Alimentos de Australia (2005), se ha realizado una extensa labor relacionada con el monitoreo del suelo en la mayoría de los distritos de riego en Western Australia (WA). El uso de sondas de neutrones para humedad en la región ha sido ampliamente remplazado por tensiómetros, bloques de yeso y otros dispositivos para la medición de la humedad del suelo. Una encuesta realizada entre el 2002 y el 2003 sugirió que el 17,6% de las granjas usaba tensiómetros y un 8,9% estaba usando otro tipo de sondas para medir la humedad de suelo en WA. Es probable que esta cifra haya aumentado considerablemente desde que se realizó esta encuesta.

En el año 2004, el Distrito de Agua del Valle Coachella (CVWD, por su sigla en inglés), ubicado en el sureste de California, implementó el Programa Extraordinario para la Conservación del Agua (ECP), destinado a cumplir los objetivos estatales y federales de conservación de agua. El programa básicamente demuestra que los métodos de recolección de información sofisticados pueden ser una herramienta efectiva para mejorar la eficiencia en el uso del agua y la productividad agrícola, incluso en un distrito que ya demuestra una alta eficiencia (hace tiempo que el CVWD ha estado entregando agua mediante un sistema de distribución con tuberías y con entregas medidas para cada cuenta, a fin de minimizar pérdidas evaporativas y maximizar la eficiencia en el uso del agua). El ECP documentó ahorros superiores a los $90 \times 10^6 \text{ m}^3$ de agua a lo largo de cinco años, a un costo para el distrito cercano a los USD 0,03/m³. CVWD distribuye agua para riego a más de 1.100 cuentas activas, lo que representa más de 31.500 hectáreas irrigables, de las cuales 4.200 ha corresponden a uvas de mesa.

Los elementos básicos del programa ECP fueron la programación científica del riego y el manejo científico de la salinidad. La programación científica del riego busca determinar los momentos para riego y los volúmenes óptimos de agua que se deben aplicar a cada cultivo. Con este fin, los consultores:

- Identificaron factores que afectan la programación de riego, incluyendo cultivo, tipo de suelo, método de riego y características de manejo;
- Midieron el uso del agua y la humedad del suelo, usando múltiples sondas de suelo;
- Midieron las tasas de riego y la uniformidad entre los diferentes campos;
- Midieron la cobertura del cultivo, su desarrollo, etapa y profundidad de la raíz;
- Monitorearon la aplicación de fertilizante y la cosecha;
- Registraron los programas y volúmenes de riego reales de los participantes en el programa; y
- Resumieron la productividad del cultivo y el uso del agua.

Utilizando los requerimientos de evapotranspiración (ET) para cultivos específicos, los consultores usaron los datos adquiridos a partir de las acciones indicadas anteriormente a fin de optimizar los programas de riego.

3.5.3 Sistema tecnológico de transmisión de datos para gestión hídrica a nivel extra predial

Como ya se mencionó anteriormente, un proyecto implementado en el Distrito de Riego de Harlington apuntaba a proveer una red de distribución de agua para riego de alto nivel. Este proyecto se centró específicamente en el control y el manejo a nivel de granja a fin de aumentar la eficiencia en la entrega del agua y el uso del agua de superficie con el objetivo de enfrentar la mayor demanda y escasez de agua. Se usaron sistemas de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA, por su sigla en inglés)* para los siguientes programas (Water Resorces Group, 2012);

- Instalación para Demostración y Calibración de Medidores de Flujo (FMC, por su sigla en inglés) en Granjas y Distrito.
- Recolección de Datos de Medición de Flujo en Granjas usando un sistema de medición y telemetría automatizado.
- Demostración de sistemas de información basada en internet para flujo en tiempo real, condiciones climáticas y cuentas de usuario de agua.
- Tecnologías Innovadoras para la Agricultura, las que incluyen:
 - Diseño de compuertas automáticas de bajo costo para canales de riego
 - Diseño de una Unidad de Telemetría Remota (RTU) de bajo costo para medir el nivel de agua y humedad del suelo usando telemetría de frecuencia de radio.

**El SCADA es un sistema que permite a un operador monitorear y controlar procesos que se distribuyen entre varios sitios remotos lo que permite la comunicación mediante una instalación de control que entrega los datos necesarios para controlar los procesos.*

El Distrito de Agua del Valle Coachella (CVWD, por su sigla en inglés), ubicado en el sureste de California, en forma paralela al programa ECP (ver sección 3.5.2) implementó un sistema de comunicación sofisticado mediante el cual instaló en el vehículo de cada celador un computador y dispositivo de comunicación capaz de transmitir órdenes de agua y estatus del sistema en tiempo real. Sobre este nuevo sistema se crearon los siguientes servicios:

- Sala de control que puede transmitir órdenes de emergencia y de último minuto directamente a los computadores de los celadores, documentando cambios que el celador puede utilizar cuando vuelva al vehículo;
- Los celadores ingresan las lecturas de los medidores directamente al sistema, lo que entrega actualizaciones inmediatas a la sala de control y mejora el manejo de la entrega del agua;
- El sistema entrega datos en tiempo real acerca de la elevación del agua en los canales y sus laterales, lo que entrega un feedback rápido al celador respecto a los flujos y el equilibrio del agua;
- Se ingresan órdenes de mantenimiento directamente al sistema, lo que acelera los esfuerzos de mantenimiento y reduce las pérdidas del sistema debido a reparaciones no realizadas;
- Se ingresan órdenes de cambio directamente al sistema, lo que entrega una documentación clara que mejora la facturación y minimiza las disputas, aumentando los ingresos para el distrito;
- Aumenta la autonomía del personal en terreno, lo que les permite reaccionar con rapidez ante los cambios según sea necesario; y
- Mejora el equilibrio del agua dentro de todo el sistema, a la vez que se reduce el desperdicio y los derrames en la parte final del sistema.

En Chile se ha llevado a cabo un proyecto de investigación y desarrollo denominado “Eficiencia del uso de agua en Chile centro norte” (Naciones Unidas, 2016). El proyecto fue financiado con el “Programa de Innovación del Ministerio Federal Alemán de Ciencia e Investigación”. En él empresas del sector privado, instituciones de investigación, así como comunidades de usuarios de agua, desarrollaron en conjunto métodos y tecnologías para i.) mejorar la evaluación del clima e hidrología a nivel de cuenca para realizar predicciones estacionales acerca de la disponibilidad del recurso, ii.) sistemas de monitoreo en línea para detectar pérdidas de agua en la red de distribución por canales y sistemas de información, y iii.) un sistema de información y comunicación para controlar los derechos de agua, contabilizar los balances de agua de cada usuario, y gestionar la distribución de agua según la demanda coordinando con el celador a través de comunicación en línea. El proyecto piloto se implementó en el valle del río Limarí. Posteriormente a la fase piloto el desarrollo del proyecto encontró dificultades para contar con recursos financieros así como con las capacidades y capital humano local para instaurar el uso de nuevas tecnologías (Berger, 2013).

En particular, el Distrito de Riego de Goulburn Murray en Victoria, Australia, formó parte de un gran proyecto destinado a actualizar la infraestructura y la tecnología existentes; el proyecto implicó una inversión de Aus\$2 mil millones. Considerado como el mayor proyecto de modernización de riego de Australia, con una cobertura de 68.000 km², el proyecto incluyó tecnología automatizada y reparaciones para la entrega y eficiencia del agua por canales antiguos. La automatización, remediación, realineamiento y actualizaciones de medidores para los canales se realizó con el objetivo de reducir las pérdidas de agua por filtraciones, evaporación e ineficiencia del sistema, que anteriormente se habían estimado en 700-800 x 10⁹ litros de agua. A la fecha, el proyecto ha logrado ahorros anuales de 425 x 10⁹ litros de agua y ha mejorado la eficiencia en el uso del agua desde un 70% a un 85%. Esta tecnología ha apoyado las buenas prácticas de gestión para regantes y ha mejorado la eficiencia del recurso. Se pueden entregar cantidades precisas de agua a los regantes cuando y donde se requiera, mediante la medición del nivel del agua y el flujo y el uso de compuertas automatizadas. Asimismo, se pueden encontrar las discrepancias en la entrega del agua a fin de permitir la identificación del mantenimiento requerido. Un objetivo adicional de este proyecto es aumentar los flujos ambientales y la oferta de agua urbana (Australian Trade Commission, 2013).

El informe reciente creado en España acerca de las estrategias para la innovación y la investigación del sector del agua, también mostró sistemas avanzados para computarizar los datos de regadío usando telemetría. Estos sistemas fueron descritos para brindar apoyo a la gestión eficiente del agua, permitiendo la toma de decisiones en tiempo real (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

3.6 I + D + i

El sector agrícola es un contribuyente invaluable al crecimiento económico de Chile. No obstante, sin la inversión e investigación suficiente, el sector no podrá responder a los futuros desafíos de desarrollo. Esto incluye en parte, la transferencia de conocimiento y la capacitación apropiada de la fuerza laboral agrícola, que permita la realización de desarrollo en investigación. Asimismo, existen beneficios externos de la inversión en desarrollo e investigación dentro del sector, tales como la mitigación de los efectos de los eventos climáticos extremos y el cambio climático, así como el mantenimiento de la competitividad dentro del mercado.

Actualmente se lleva a cabo una gran inversión (Aus\$13 billones) en infraestructura en la Cuenca Murray-Darling en Australia, cuyo objetivo es mejorar la gestión de los recursos hídricos de la cuenca. Una gran parte de esta inversión es para los regantes en la cuenca, y se dividió entre proyectos intra- y extra-prediales. Los proyectos extra-prediales van a involucrar la restauración y modernización del sistema de suministro de riego, por ejemplo la conversión de canales abiertos a sistemas entubados y el revestimiento de los canales. Hay más que 2000 proyectos intra-prediales que van a ayudar a los agricultores a mejorar su eficiencia hídrica. Éstos incluyen el cambio de riego por inundación a riego por goteo, la modernización de las tuberías y las bombas y la monitorización de las características del suelo. (Department of the Environment, 2015).

En el año 2015, el Ministerio de Agricultura y Agua y el Presidente de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) en España, firmaron un acuerdo de colaboración de investigación. Este proyecto apunta a reducir el consumo del agua de las uvas de mesa y las aceitunas, entre otros, en un 30%. El proyecto se llevará a cabo hasta diciembre del 2017 y se aplicará sobre un área de hasta 7.000 hectáreas entre tres comunidades colaborativas de regadío. Se creará una página web como parte del proyecto, lo que permitirá a los regantes tener acceso a los datos recolectados en tiempo real y que posteriormente se implementará para otros productores en la región. Uno de los principales objetivos del proyecto es establecer una cultura de información compartida entre los responsables del regadío y los agricultores, lo que permitirá la generación de pautas de riego que se seguirán en todo momento. Se ha asignado una inversión de 1,8 millones de euros para este proyecto de investigación, el que ha sido co-financiado por la Unión Europea (Irriman Life, 2015).

A pesar de que Israel no cuenta con tipos de cultivos similares a los del distrito de Atacama en Chile, sí cuenta con avances enormes en cuanto a desarrollo agrícola, y es conocido internacionalmente dentro de la industria del riego y por la exportación de más del 80% de sus productos (Planning Department of the Israeli Water Authority, 2011). Asimismo, es uno de los líderes mundiales en el uso eficiente del agua y por ende en este caso se consideró importante incluir ejemplos relevantes respecto de la política de investigación y desarrollo agrícola tomados de Israel.

El riego agrícola en Israel usa dos tipos de fuentes de agua no convencionales, que representan el 52% de toda el agua usada en el sector. El agua de uso doméstico tratada, denominada normalmente como aguas de efluentes o aguas servidas tratadas, cubre el 38% del consumo. El 14% restante del consumo del agua en la industria agrícola proviene del agua salobre. El desarrollo de cultivos que pueden prosperar con agua salobre en vez de agua dulce tradicional ha sido posible mediante la investigación efectuada en Israel. Cada lote agrícola dentro del Estado de Israel se monitorea en forma individual a fin de verificar los volúmenes de efluentes y agua salobre versus agua potable utilizados. El Informe de Eficiencia Nacional del Agua (2011) de Israel indica que la investigación y el desarrollo han sido un impulsor enorme para el aumento en la eficiencia en el uso de su agua. Ha quedado claro que la efectividad de la investigación y el desarrollo se ha optimizado mediante la estrecha colaboración tripartita lograda entre agricultores, investigadores e industrias relacionadas con la agricultura, lo que ha sido una estrategia clave. Esta relación fomenta que los agricultores participen en forma activa con los investigadores y la industria mediante la presentación de sus desafíos más recientes y la

entrega de su input y evaluaciones a través de los procesos de investigación y desarrollo. (Planning Department of the Israeli Water Authority, 2011)

Como parte de los planes nacionales de Israel para desarrollos en el consumo eficiente del agua entre el 2010 y el 2050, los siguientes objetivos se relacionan específicamente con la industria agrícola (Planning Department of the Israeli Water Authority, 2011):

- Menor dependencia del agua potable para riego en el sector agrícola, con una reducción desde un 42% actual a un 26% para el 2050. Aumento de dependencia de aguas servidas tratadas o efluentes para riego.
- Duplicar con creces la cantidad de efluentes entregados para riego en el sector agrícola para el 2050.
- Continuar con las inversiones nacionales en investigación, desarrollo, capacitación e incentivos para el manejo de la demanda a fin de aumentar la conservación y la eficiencia del uso en el sector.

El objetivo final incluye inversiones en incentivos de manejo de demanda con el fin de mejorar la eficiencia en el uso del agua. El gobierno israelí ya ha estado implementando este objetivo en la forma de un programa de apoyo para agricultores que usan ahorro avanzado de agua, entre otras tecnologías, esto también se extiende a educación gratuita para todos los agricultores respecto de la mayoría de las tecnologías más recientes de la industria. También se han creado políticas para apoyar la opción del uso de agua de efluentes y salobre para riego. Las tarifas aplicadas a estos tipos no convencionales de agua son cerca de un 50% inferiores a las del agua potable, y además los agricultores tienen restricciones y pueden usar solo una cierta cantidad de agua potable por año. Los incentivos para reducir esta asignación de agua potable ofrecen un 20% de agua no convencional extra cuando se cambia agua potable por uno de estos tipos de agua. Asimismo, el gobierno de Israel ha prometido entregar un 60% de financiamiento para cubrir los costos de la instalación de tuberías necesarias para que estos tipos de agua lleguen a cada lote agrícola. (Planning Department of the Israeli Water Authority, 2011).

3.7 Discusión y recomendaciones

Los niveles de consumo de agua que se esperan tener en 5-10 años en los cultivos de uva de mesa, tomate y aceitunas son razonables a la vista del caso de España. Sin embargo, es complejo refrendar estos objetivos dado que el consumo de cada cultivo es función de muchas variables relevantes, tales como las condiciones meteorológicas (patrón de precipitaciones, temperaturas, etc.) y geográficas (suelos, pendientes), así como el sistema de riego. Es por ello que, para realizar comparaciones de la eficiencia en el uso del agua, es recomendable considerar otra métrica que relaciona la cantidad de agua utilizada por cantidad de cultivo producido [m^3 de agua aplicada / ton de producto cosechado], tal como se ha presentado para este estudio. En efecto, la comparación de la eficiencia hídrica de la Región de Atacama con respecto a otros casos internacionales es menor si se compara en términos de agua utilizada por superficie de cultivo, mientras que resulta buena si se compara en términos de agua utilizada por masa de cultivo producido.

En el análisis de la priorización de las medidas para mejorar la eficiencia del uso del agua, en cambio, es relevante diagnosticar las condiciones iniciales del sistema para estimar la costo-eficiencia de las alternativas de medidas.

De acuerdo con los casos internacionales descritos en las secciones previas se confirma que para aumentar la eficiencia del uso de agua en general la prioridad ha estado puesta en reducir las pérdidas mediante entubamiento o revestimiento de canales. En estas medidas es donde en general está el mayor potencial de ahorro y a una tasa más costo-eficiente (volumen de agua ahorrado por dinero invertido $\text{m}^3/\$$).

En los casos internacionales analizados, en general una vez se han reducido y se gestionan las pérdidas por infiltración (y/o evaporación), se trabaja en la implantación de sistemas de monitoreo de caudales y control de compuertas de forma telemétrica en línea que permiten reducir las pérdidas por gestión de la distribución.

Estos sistemas permiten identificar las zonas de pérdidas y gestionar de forma eficiente la distribución oportuna del agua.

En los casos internacionales analizados también se observa que la eficiencia en la aplicación del riego a nivel predial es relevante para disminuir el consumo de agua, sin disminuir la producción. En este sentido en los casos analizados, una vez que se han implementado los sistemas de riego más eficientes, también han avanzado hacia sistemas de control de riego automatizado por unidades de gestión menores en función del monitoreo de la humedad del suelo y otras variables (follaje, profundidad radicular, etc.).

En general para los casos internacionales descritos se ha visto que se trabaja en paralelo el desarrollo de la eficiencia del uso del agua a nivel extrapredial (sistemas de distribución) e intrapredial (sistemas de aplicación del riego). Dado que en los casos de la cuenca del río Copiapó y el río Huasco la proporción de predios con fuentes de agua individuales (pozos de agua subterránea) es relativamente elevada, es especialmente relevante balancear las medidas a nivel extra- e intra-predial en función de su aporte a la eficiencia del uso de agua en términos globales.

En el caso de la Región de Atacama no se ha mencionado la opción de reutilizar en el riego agrícola las aguas residuales domiciliarias tratadas. Tal como se indicó para el caso del sector agrícola de Israel, que también tiene foco en la exportación, esta fuente de agua corresponde al 30% del consumo a nivel nacional. En algunos sectores agrícolas de la Cuenca Hidrográfica del Júcar, sureste de España, también se ha incentivado el uso de las aguas residuales tratadas. En ambos casos mencionados anteriormente también se hace uso de aguas salobres seleccionando aquellos cultivos que se adaptan.

A modo general en muchos casos internacionales revisados se incentivan proyectos que tienen en cuenta el uso eficiente del agua y la energía simultáneamente. Éstos suelen promover el uso de energías renovables. Estas consideraciones parecen especialmente relevantes para soluciones relacionadas con el riego por aguas subterráneas bombeadas en el río Copiapó y río Huasco.

A la luz de las brechas y las soluciones tecnológicas identificadas es evidente que la implementación requerirá del desarrollo de capital humano con capacidades en el ámbito de las tecnologías de información y electrónica.

4 Minería

4.1 Antecedentes generales

El sector de minería es un sector productivo muy importante para la Región de Atacama ya que contribuye el 40% del Producto Interno Bruto (2005) a la economía de la región. El crecimiento más significativo del sector ocurrió durante la década del 90, en que la minería presentó un explosivo crecimiento, promediando alrededor de un 11% anual (Universidad Católica Norte, 2007). En esta región hay operaciones del tipo pequeña, mediana y grande minería de cobre y operaciones grandes de hierro y oro.

4.2 Casos internacionales a ser analizados y comparados

4.2.1 Australia

Australia es uno de los principales países mineros en el mundo, ubicado dentro de los tres principales con importante producción de minerales y metales, tales como mineral de hierro, cobre y oro. La industria minera del país cumple un importante rol en la economía de la nación, constituyendo hasta un 60,5% de los ingresos totales por exportaciones y contribuyendo más del 10% al Producto Interno Bruto (PIB) en 2011-2012 (Australian Trade Commission, 2013). Una parte importante de la creciente inversión en minería en el país se puede atribuir principalmente a la continua demanda por materias primas desde los mercados emergentes de Asia, lo que resulta en niveles récord de inversión en la industria. El mineral de hierro es una de las materias primas que más ha atraído inversión a Australia, junto con el sector del petróleo y el gas y el carbón. En conjunto, estas materias primas representan más del 90% de todo el gasto de capital comprometido en la industria (Australian Trade Commission, 2013).

Los operaciones mineras en Australia se encuentran esparcidas por todo el país, lo que significa que cada mina puede experimentar diferentes condiciones climáticas. La mayor parte del país es desértica o semi-árida, lo que hace especialmente desafiante asegurar un suministro de agua que resulte suficiente. El sureste y el sudoeste de Australia cuentan con un clima más templado, mientras que el Noreste de Queensland (QLD) y el Northern Territory (NT) tienen un clima principalmente tropical (University of Melbourne, 2007). La *Figura 4-1* ilustra las condiciones climáticas del país.

Los siguientes mapas se muestran con el fin de ilustrar las ubicaciones de las minas y los depósitos más importantes de Australia. Australia extrae mineral de hierro prácticamente en todos sus estados, aunque Western Australia (WA) produce la gran mayoría, específicamente la Región Pilbara en Northern WA, la que se destaca en la *Figura 4-2*. Según se ilustra en la *Figura 4-3*, el cobre se distribuye por todo el país. No obstante, la principal actividad minera de cobre se desarrolla en Olympic Dam en SA y Mount Isa en QLD (Australian Government, 2016). Los depósitos y las operaciones mineras más importantes de oro se desarrollan en WA, los que representan aproximadamente un 60% de todos los recursos (Australian Government, 2016). No obstante, los estados de QLD, NSW y Victoria también tienen importantes operaciones en minería de oro (*Figura 4-4*).

La baja en leyes de mineral se está transformando en un creciente problema en cuanto a la producción y la comercialización de minerales en todo el mundo. La *Figura 4-5* muestra un ejemplo de la baja en las leyes del mineral de hierro del mundo y compara el estado de las actuales leyes de mineral de Australia. Se puede apreciar que si bien existe una tendencia global a la baja en la ley del mineral de hierro, Australia se encuentra en una mucho mejor posición que el resto del mundo. La ley de los minerales se considera como un aspecto especialmente importante en términos de uso de agua en las minas, dado que las menores leyes requieren de un procesamiento más intensivo, y por ende, se aprecia un mayor consumo de agua.

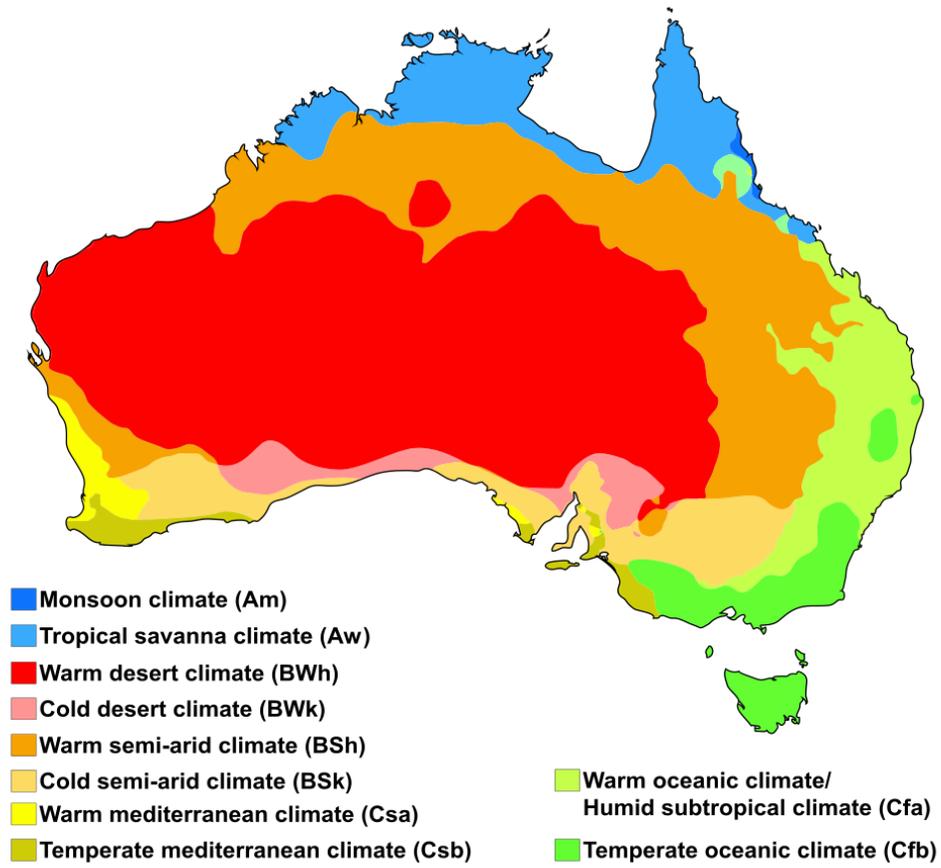


Figura 4-1. Condiciones climáticas en Australia, usando la clasificación Köppen-Geiger (University of Melbourne, 2007)

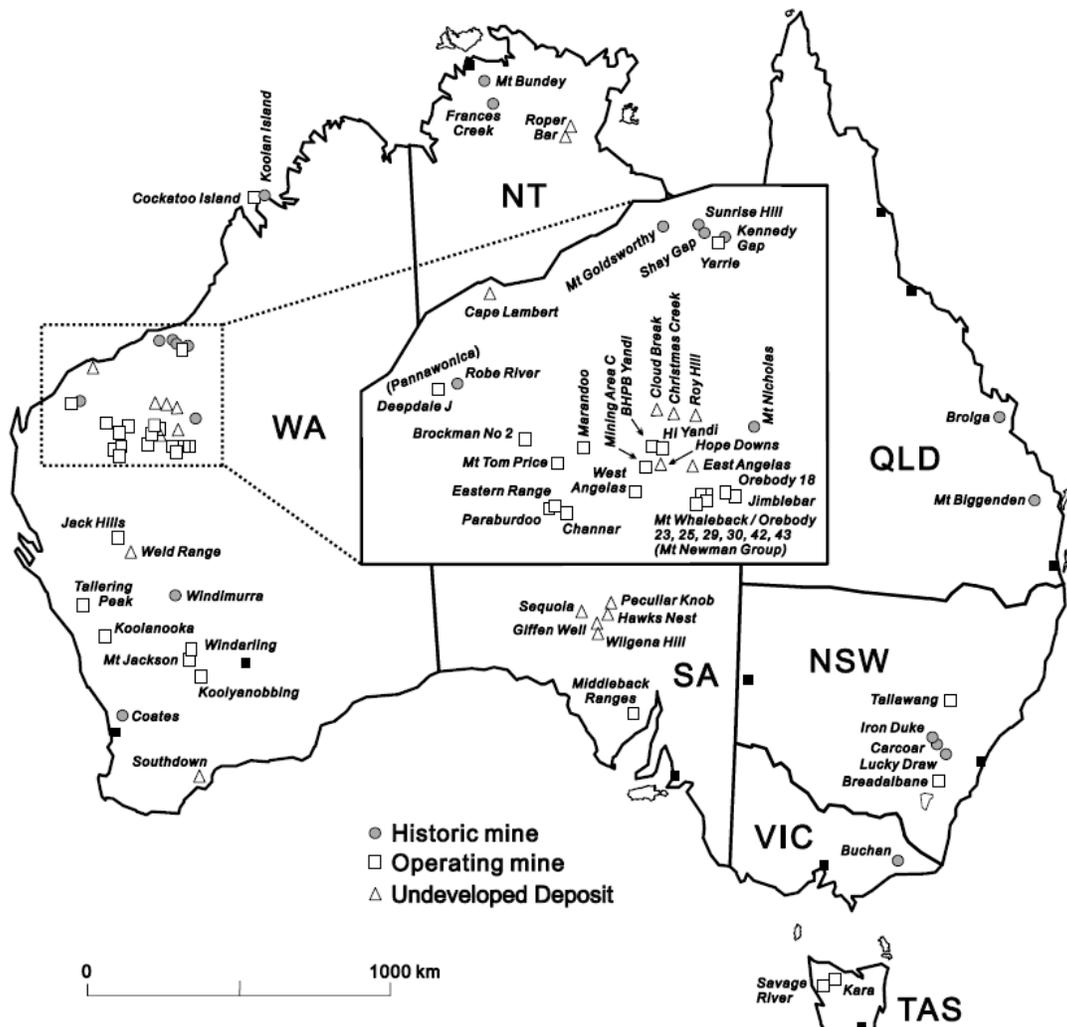


Figura 4-2: Minas y depósitos de mineral de hierro más importantes de Australia (Mudd, 2007)



Figura 4-3: Minas y depósitos de cobre más importantes de Australia (Mudd, 2007)

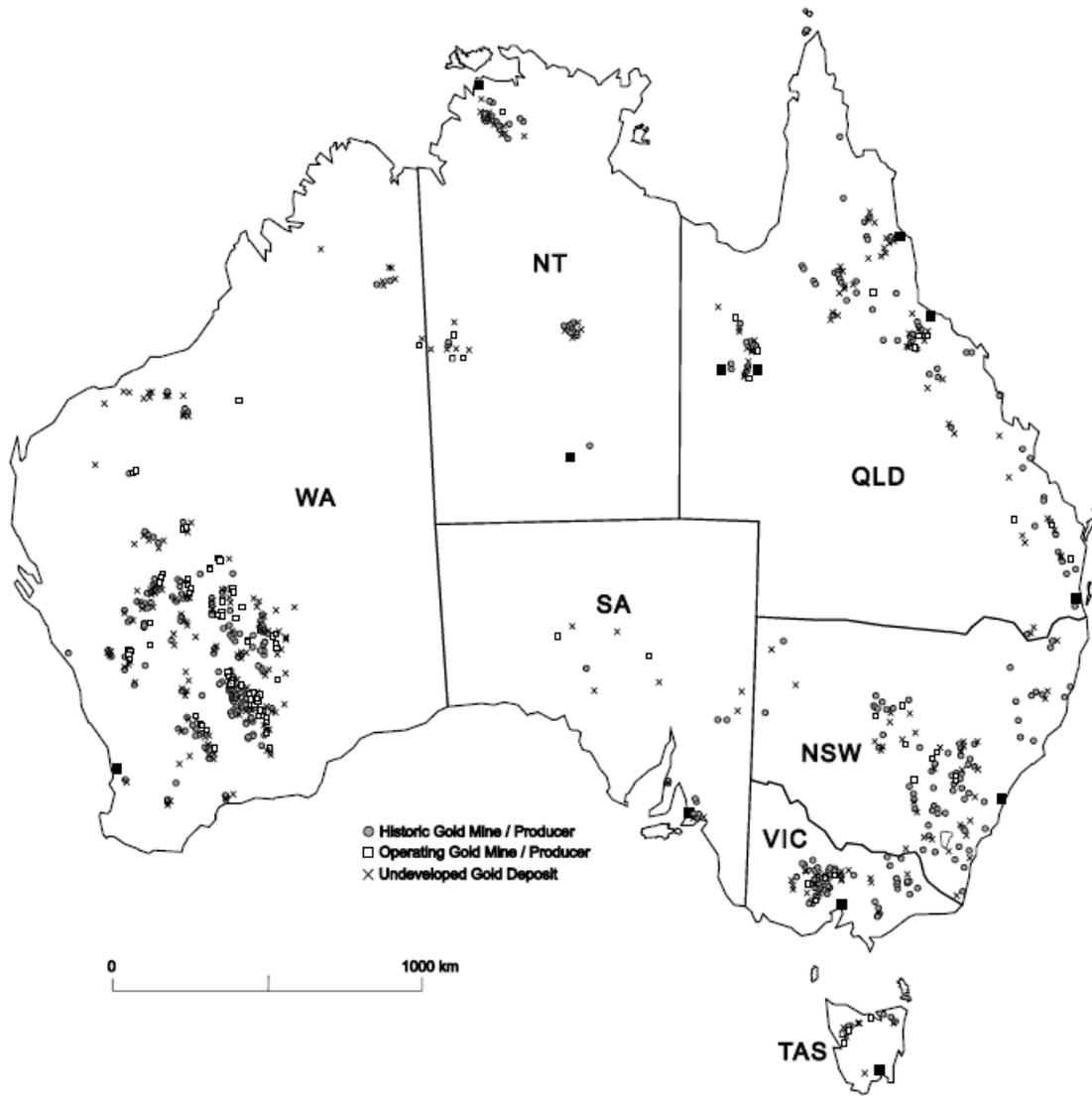


Figura 4-4: Minas y depósitos de oro más importantes de Australia (Mudd, 2007)

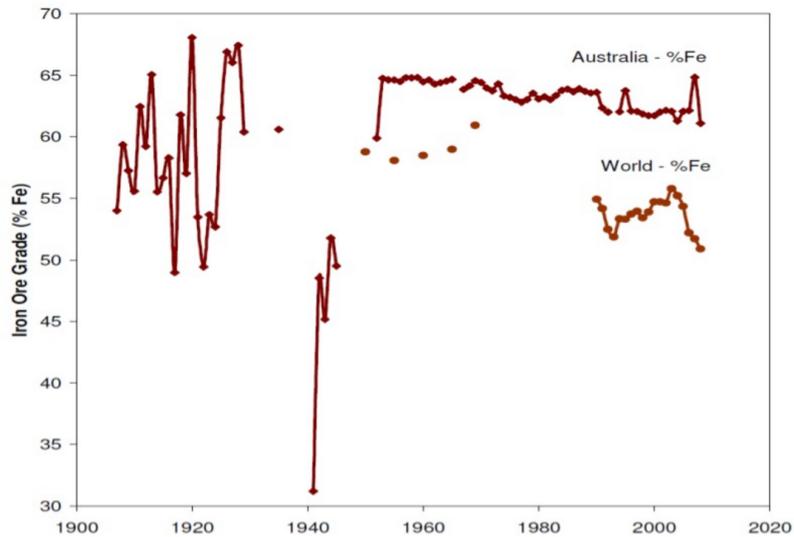


Figura 4-5: baja en las leyes de mineral de hierro (% Fe), incluyendo el promedio anual y de Australia para comparación.

4.2.2 India

La industria minera de India se caracteriza por un gran número de minas operativas pequeñas. Las minas pequeñas en el sector privado siguen siendo operadas como empresas propias o mediante sociedades. Las compañías del sector público representaron cerca del 68% del valor total de la producción mineral. El número de minas que informaron su producción alcanzó las 3.108 en el 2012 e incluyó 1.976 minas industriales (por ej.: productos de cuarzo, piedras y cantera), 559 minas de metales y 573 depósitos de carbón.

El carbón, la piedra caliza y el mineral de hierro constituyen los minerales más importantes en India en término de producción y exportación. Los minerales de hierro más importantes de India son la hematita y la magnetita, mismas que representan cerca del 75% y el 25% de los depósitos, respectivamente. Los minerales de magnetita muestran una baja ley (30-40% Fe) y se dan principalmente en el sur de India, especialmente en Karnataka. La hematita se considera superior debido a su mayor ley (58-66 Fe), y se encuentra principalmente en el este de India. (R. Tiwary, 2000). La siguiente ilustración, *Figura 4-6*, se muestra donde se da la principal producción de mineral de hierro.

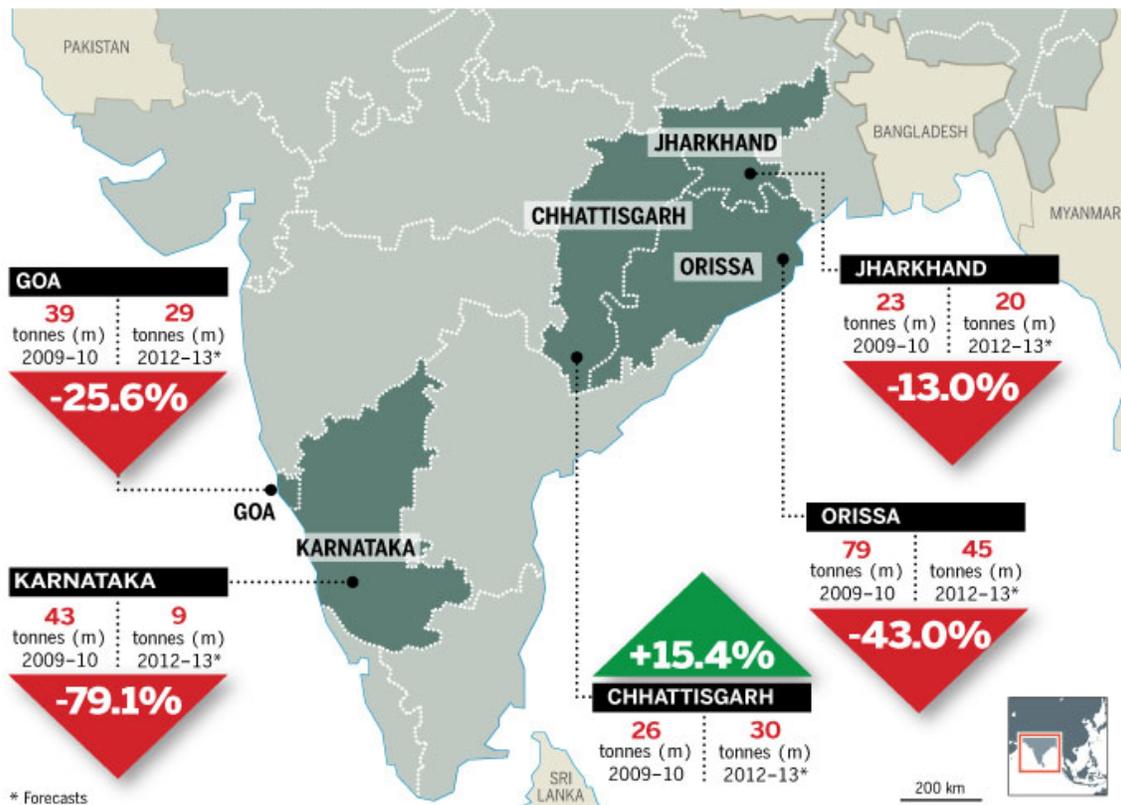


Figura 4-6: Principales estados para la producción de mineral de hierro en India, incluyendo cantidades de producción en millones de toneladas (J. Crabtree, 2013)

Las cantidades de Mineral de hierro producidas en India y en el mundo, respectivamente en 2012-2013 fueron 136×10^6 toneladas, 2969×10^6 toneladas, por ende el país contribuyó con un 4,06% (5to en el mundo) a la producción total. La producción de mineral de hierro en el 2013-2014 en India alcanzó aproximadamente las $152,43 \times 10^6$ toneladas, lo que representa un alza cercana al 12% sobre el año anterior (British Geological Survey, 2015). No obstante, esta es una reducción significativa desde la producción máxima de aproximadamente 245×10^6 toneladas, registrada en 2009-2010, lo que se atribuye parcialmente al cierre de una mina grande y la caída en los precios de las materias primas (G. Rao, 2015). Recientemente, India redujo el impuesto a la exportación desde un 30% a un 10% sobre el mineral de hierro, mismo que contiene menos de un 58% de hierro, a fin de mejorar las ventas para las leyes de menor calidad (Jamasmie, 2015).

4.3 Resumen de lo contenido en los informes de la Universidad de Chile

En el Informe Final Etapa II: Identificación de Oportunidades y Levantamiento de Brechas (U de Chile, 2016) se han descrito y cuantificado las brechas competitivas y de componente tecnológica en base a i.) la opinión de expertos, ii.) reuniones técnicas con profesionales, y iii.) la revisión de información secundaria. Posteriormente se han propuesto indicadores para medir el avance desde la situación inicial a una situación esperada definida.

Posteriormente en el Informe Etapa III: Diseño de Hoja de Ruta (U de Chile, 2016) se priorizan las brechas, se identifican las acciones para cerrar las brechas, se establece un programa, y se proponen los Comités Gestores y los indicadores para realizar el seguimiento.

Este análisis se ha realizado para la Región de Atacama individualizando sectores económicos (minero, agrícola, sanitario, intra-domiciliario y transversal) y a su vez cuencas (Río Salado, Río Copiapó y Río Huasco).

Situación actual Cuenca río Huasco	Plazo aproximado	Situación Esperable Cuenca río Huasco
<p>Mediana Minería del cobre</p> <p>Eficiencia: Concentración: 0.59 m³ agua fresca/ton Hidrometalurgia: 0.15 m³ agua fresca/ton</p> <ul style="list-style-type: none"> • 40 % recirculación de agua en relación al total consumida • Relación consumo agua desalada/agua fresca [%/ %] (no reportada) 	5-10 años	<p>Mediana Minería del cobre</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia: Concentración: 0.5 m³ agua fresca/ton Hidrometalurgia: 0.08 m³ agua fresca/ton • 60 % recirculación de agua en relación al total consumida • Consumo: 10 % agua desalada 90 % agua fresca
<p>Pequeña Minería del cobre</p> <p>Eficiencia: Concentración: 4 m³ agua fresca/ton Hidrometalurgia: X m³ agua fresca/ton (no reportada)</p> <ul style="list-style-type: none"> • % recirculación de agua en relación al total consumida (no reportado) • Relación consumo agua desalada/agua fresca [%/ %] (no reportada) 	5-10 años	<p>Pequeña Minería del cobre</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia: Concentración: 0.56 m³ agua fresca/ton Hidrometalurgia: 0.08m³ agua fresca/ton • 60 % recirculación de agua en relación al total consumida • Consumo: 5-10 % agua desalada 95-90 % agua fresca
<p>Gran Minería del hierro</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0.51 m³ agua fresca/ton producida • 47% recirculación de agua en relación al total consumido • 100% agua subterráneas y superficiales 	5-10 años	<p>Gran Minería del hierro</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0.4-0.45 m³ agua fresca/ton producida • 60 % recirculación de agua en relación al total consumida. • Consumo: 20 % agua desalada 80 % agua fresca

Figura 4-7: Metas establecidas por el Programa Estratégico para la cuenca del río Huasco (Fuente: modificado de U de Chile, 2016)

La situación actual y las Metas a 5-6 o 5-10 años establecidas para las cuencas se presentan en las próximas figuras.

Situación actual Cuenca río Copiapó	Plazo Aproximado	Situación Esperable Cuenca río Copiapó
<p>Gran Minería del cobre</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia: Concentración: 0.56 m³ agua fresca/ton Hidrometalurgia: 0.07 m³ agua fresca/ton • 70% recirculación de agua en relación al total consumida • Consumo: 24% agua desalada 76% agua fresca 	5-6 años	<p>Gran Minería del cobre</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia: Concentración: 0.40 m³ agua fresca/ton Hidrometalurgia: 0.05 m³ agua fresca/ton • 85% recirculación de agua en relación al total consumida • Consumo: 30% agua desalada 70% agua fresca
<p>Mediana Minería del cobre</p> <p>Eficiencia: Concentración: 0.59 m³ agua fresca/ton Hidrometalurgia: 0.15 m³ agua fresca/ton</p> <ul style="list-style-type: none"> • 40 % recirculación de agua en relación al total consumida • Relación consumo agua desalada/agua fresca [%/ %] (no reportada) 	5-10 años	<p>Mediana Minería del cobre</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia: Concentración: 0.5 m³ agua fresca/ton Hidrometalurgia: 0.08 m³ agua fresca/ton • 60 % recirculación de agua en relación al total consumida • Consumo: 10 % agua desala 90 % agua fresca
<p>Pequeña Minería del cobre</p> <p>Eficiencia: Concentración: 4 m³ agua fresca/ton Hidrometalurgia: X m³ agua fresca/ton (no reportada)</p> <ul style="list-style-type: none"> • % recirculación de agua en relación al total consumida (no reportado) • Relación consumo agua desalada/agua fresca [%/ %] (no reportada) 	5-10 años	<p>Pequeña Minería del cobre</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia: Concentración: 0.56 m³ agua fresca/ton Hidrometalurgia: 0.08 m³ agua fresca/ton • 60 % recirculación de agua en relación al total consumida • Consumo: 5-10 % agua desala 95-90 % agua fresca
<p>Gran Minería del hierro</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0.51 m³ agua fresca/ton producida • 47% recirculación de agua en relación al total consumida • Consumo: 29% agua desalada 71% agua fresca 	5-10 años	<p>Gran Minería del hierro</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0.4-0.45 m³ agua fresca/ton producida • 60 % recirculación de agua en relación al total consumida • Consumo: 40 % agua desalada 60 % agua fresca
<p>Gran Minería del Oro</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0.19 m³ agua fresca/ton producida • % recirculación de agua en relación al total consumida no reportada • Consumo: 0% agua desalada 100% agua fresca 	5-6 años	<p>Gran Minería del Oro</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0.10 m³ agua fresca/ton producida • X% recirculación de agua en relación al total consumida • Consumo: X% agua desalada X% agua fresca

Figura 4-8: Metas establecidas por el Programa Estratégico para la cuenca del río Copiapó (Fuente: modificado de U de Chile, 2016)

Situación actual Cuenca río Salado	Plazo Aproximado	Situación Esperable Cuenca río Salado
<p>Gran Minería del cobre</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia: Concentración: 0.56 m³ agua fresca/ton Hidrometalurgia: 0.07 m³ agua fresca/ton • 70% recirculación de agua en relación al total consumida • Consumo: 24% agua desalada 76% agua fresca 	5-6 años	<p>Gran Minería del cobre</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia: Concentración: 0.40 m³ agua fresca/ton Hidrometalurgia: 0.05 m³ agua fresca/ton • 85% recirculación de agua en relación al total consumida • Consumo: 30% agua desalada 70% agua fresca
<p>Mediana Minería del cobre</p> <p>Eficiencia: Concentración: 0.59 m³ agua fresca/ton Hidrometalurgia: 0.15 m³ agua fresca/ton</p> <ul style="list-style-type: none"> • 40 % recirculación de agua en relación al total consumida • Relación consumo agua desalada/agua fresca [%/ %] (no reportada) 		5-10 años
<p>Pequeña Minería del cobre</p> <p>Eficiencia: Concentración: 4 m³ agua fresca/ton Hidrometalurgia: X m³ agua fresca/ton (no reportada)</p> <ul style="list-style-type: none"> • % recirculación de agua en relación al total consumida (no reportado) • Relación consumo agua desalada/agua fresca [%/ %] (no reportada) 	5-10 años	

Figura 4-9: Metas establecidas por el Programa Estratégico para la cuenca del río Salado (Fuente: modificado de U de Chile, 2016)

Respecto de la componente de infraestructura tecnológica se identifican las siguientes brechas y su priorización:

- **Prioridad Alta:**
 - o Disminución de evaporación desde tranques de relaves (y pilas de lixiviación)
 - o Recirculación de soluciones y regeneración de cianuro en minería de oro
 - o Eficiencia de espesadores y relaves en pasta
 - o Fortalecimiento de la red de apoyo y fomento productivo (especialmente mediana y pequeña minería)
 - o Generación de acciones asociativas para la implementación de nuevas tecnologías y capacidades
 - o Manejo de depósitos de relave y gestión de cierre de faenas
- **Prioridad Media:**
 - o Reutilización de agua
 - o Sistemas para la auto matización de procesos
 - o Sistema de monitoreo y control de caudales
 - o Certificación de la calidad de los productos y procesos, y medioambiental (especialmente en mediana y pequeña minería)
 - o Minimización de impacto ambiental
- **Prioridad baja:**
 - o Sistema de concentración e hidrometalurgia (cambio tecnológico al uso de agua de mar o salobre)

Sin embargo, de acuerdo con los contenidos del Informe Preliminar “Diseño de la Hoja de Ruta”, la propuesta de CSIRO y el análisis desarrollado durante el proyecto, las brechas que son analizadas son las siguientes:

- Disminución de evaporación desde tranques de relaves (y pilas de lixiviación)
- Recirculación de soluciones y regeneración de cianuro en minería de oro
- Eficiencia de espesadores y relaves en pasta
- Fortalecimiento de la red de apoyo y de fomento productivo (especialmente mediana y pequeña minería)
- Generación de acciones asociativas para la implementación de nuevas tecnologías y capacidades
- Manejo de depósitos de relave y gestión de cierre de faenas
- Potenciales tecnologías para el ahorro de agua en minas

4.4 Comparación de consumos y los usos del agua

4.4.1 Australia

Los recursos hídricos constituyen un activo vital para la humanidad que merece una mejor gestión. Esta gestión incluye todos los aspectos de los recursos hídricos, así como su suministro, uso, conservación, tratamiento y reutilización, a fin de lograr una utilización óptima. En muchos casos, el agua utilizada en las minas australianas proviene del drenaje de depósitos de mineral y se prefiere por sobre el agua fresca. Se usa el agua reciclada de una instalación de almacenaje de relaves de finos cuando se encuentra disponible. El resto del agua que no se usa en la faena, por lo general se regresa al medioambiente a través de reinyecciones o como descarga directa. Se han creado las pautas “Leading Practice Sustainable Development for Mining Industry (Water Management)” destinadas a la gestión hídrica en las minas australianas, que fomenta la contabilidad del agua, reducción del uso de agua fresca, reutilización del agua y su reciclaje y descarga, manteniendo estándares para el requerimiento de la calidad del agua en términos cuantitativos. Un ejemplo de una cuenta hídrica básica para una mina ficticia se muestra en este documento, donde se identifican las fuentes de agua que se utilizan (por ej.: agua fresca, agua de pozo o agua marina), eficiencia en términos de reutilización y reciclaje, y volúmenes de almacenamiento y descarga. La reutilización del agua se define en este contexto como el agua que pasa de una tarea a otra en un sitio minero sin transformación. El agua se considera reciclada cuando es tratada de un modo u otro antes de ser usada en otra tarea. Las formas comunes de tratamiento son el filtrado de sólidos, la neutralización y la desalación.

En Australia se han propuesto varias definiciones. Reutilización de agua se mide a partir de la relación entre la cantidad de agua que se usa en una operación y la cantidad de agua que se importa. Es la relación entre el agua de procesos en faena y el agua importada (la que puede usarse cruda o provenir de otra fuente de procesos, como otra mina). La reutilización de agua se puede expresar en una de dos maneras, dependiendo del usuario de la información. En ambos casos la reutilización incluye el reciclaje.

- Intensidad de la importación: Reutilización de agua = agua de procesos/suministro de agua
- Proporción de demanda total: Reutilización de agua = agua de procesos/ (suministro de agua + agua de procesos)

No existen muchas minas en Australia que hayan adoptado esta definición, ni hayan informado valores de reutilización de agua hasta la fecha. Los valores de reutilización de agua en las minas australianas no se listan ni informan en este documento, pero se entrega la definición con el fin de mostrar la manera en que la industria está intentando desarrollar una manera común de medir la reutilización de agua.

En Australia, la proporción de agua utilizada en el sector minero aumentó desde un 1,4% ($321 \times 10^6 \text{ m}^3$) en el 2000 a un 4% en el 2010 ($540 \times 10^6 \text{ m}^3$) del agua total utilizada en Australia. No obstante, a lo largo de 10 años, el agua utilizada por la agricultura ha disminuido en comparación con la minería y la manufactura. El costo del agua utilizada en la minería ha aumentado desde uno AU\$0,01 por m^3 a AU\$1,82 por m^3 . Sin embargo, el valor

asociado con el agua usada por la minería en el 2010 se estimó entre AU\$161 y AU\$199 por m³ del agua usada para producir minerales. Este valor se definió como el valor de la producción mineral dividido por los m³ de agua usada por la industria minera. La *Figura 4-10* muestra los cambios del uso del agua en Australia a lo largo de varios años.

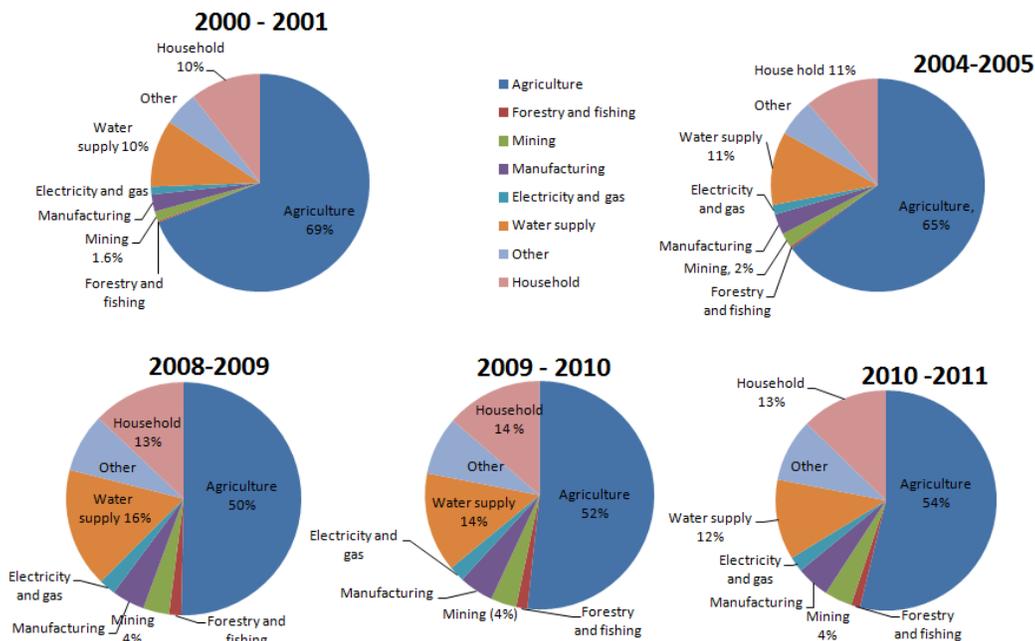


Figura 4-10: Cambio a lo largo del tiempo en el uso del agua en Australia por sector

No existen indicadores clave de desempeño (KPI, por su sigla en inglés) específicos para las minas australianas en el corto o mediano plazo en relación con la reducción en el uso del agua. En las minas ubicadas en Northern Australia (QLD y NT), durante ciertos momentos del año existe un exceso de agua, debido a las condiciones climáticas tropicales en esa parte del territorio. Por ende, en muchos casos, es necesario drenar el lugar a fin de continuar con las operaciones mineras. En las minas de la zona Centro de Australia, el agua de pozo es la fuente principal, la que a menudo se utiliza para molinos y procesamiento. En el caso de la zona sur de Australia y Tasmania, parte del agua consumida proviene de lluvias, la que se almacena en reservas para su uso en plantas de procesamiento. Muchas minas en Australia efectivamente presentan una proporción positiva de agua neta (es decir, tienen más agua de la necesitan) y deben descargar agua a los cuerpos naturales de agua después de realizar los tratamientos de humedales y otros tratamientos a fin de cumplir con las pautas de calidad de agua impuestas por las agencias de protección ambiental.

La contabilidad del agua o el registro de huella hídrica puede ser una herramienta para referenciar la eficiencia en el uso del agua de la industria minera. Los métodos disponibles para calcular la huella hídrica de un producto o proceso se han desarrollado considerablemente durante los años anteriores. Los métodos recientes reconocen que existen dos impactos principales asociados con el uso del agua: el consumo y la degradación, y que estos impactos pueden ocurrir en forma directa en una instalación productiva, o en forma indirecta dentro de la cadena de suministro de un productor. Los métodos para registrar la huella hídrica se pueden usar en varias formas. El índice de estrés hídrico de diferentes áreas se puede utilizar para referenciar sitios que operan en distintas regiones y para comprender los riesgos del suministro de agua que enfrentan los commodities minerales y metales más importantes. El proceso de preparación del registro de huella hídrica de una operación también puede revelar importantes oportunidades para el ahorro de agua en sitios individuales (Northey et al., 2014).

En abril del 2012, el Sustainable Minerals Institute de la Universidad de Queensland preparó el marco Water Accounting Framework (WAF) para la industria mineral, el que se publicó en forma conjunta con el Minerals Council of Australia. El documento se ha basado en la gestión hídrica estratégica en la industria mineral publicado en el 2006 por el Minerals Council of Australia. El gobierno de Western Australia está desarrollando métodos para la contabilidad del agua en su industria minera, es decir, agua de Pilbara en pautas mineras; agua de Western Australia en pautas mineras. La UNEP (2012) publicó su System of Environmental-Economic Accounting for Water en el 2012. El grupo de trabajo Water Use in Life Cycle Assessment (LCA) (WULCA, 2013) realiza reuniones regulares a fin de desarrollar métodos de impacto hídrico en LCA. Asimismo, el manual de evaluación de huella hídrica entrega pautas excelentes acerca de las medidas para los procedimientos de consumo de agua (Water Footprint Network, 2012). Aunque existen varios métodos y herramientas disponibles para contabilizar el agua en la faena minera e informar las huellas hídricas, ninguna ha sido adoptada seriamente por la industria. Se ha incentivado la adopción del WAF en la industria australiana, dado que recibió el apoyo del lobby de la industria. No obstante, solo se ha intentado implementarla en el contexto de la minería del carbón en Queensland y posiblemente en New South Wales.

La International Standard Organisation publicó sus 'Water Footprint - principles, requirements and guidelines' bajo la categoría de gestión medioambiental usando el enfoque de evaluación de ciclo de vida (ISO 14046, 2014). Este estándar requiere que se informe la huella hídrica como uso directo del agua (agua para consumo), calidad del agua (agua para propósitos de degradación debido a su uso en plantas de proceso) y el índice de estrés hídrico (relación entre el retiro y la disponibilidad de agua en una ubicación geográfica particular). Este es uno de los métodos más acabados para informar la huella hídrica de un producto o proceso. No obstante, debido a la falta de conjuntos de datos confiables, la implementación de estos estándares es difícil.

La siguiente *Tabla 4-1* resume el agua promedio utilizada por la minería del cobre, mineral de hierro y oro en Australia. No existe un objetivo específico prescrito para la industria minera en términos de reducción de consumo de agua; no obstante, sería razonable asumir una reducción de entre un 10% a un 20% en el uso de agua fresca.

Tabla 4-1: consumo de agua promedio en las minas australianas: actual y objetivos

Situación actual (Northey y Haque, 2013)	Periodo de tiempo	Objetivo (asumiendo objetivo de reducción de 10% a 20%)
<p>Minería mediana del cobre (leyes de mineral de 0,8 a 1,5% Cu)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia: <ul style="list-style-type: none"> o Concentración: 0,15 m³ de agua fresca /ton. concentrado producida o Hidrometalurgia: 0,08 m³ agua fresca/ tonelada - Recirculación de agua: 20% a 40% de agua total consumida - Consumo: <ul style="list-style-type: none"> o Agua desalada: 0% o Agua fresca: 100% 	5-6 años	<p>Minería mediana del cobre</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia: <ul style="list-style-type: none"> o Concentración: 0,13 m³ de agua fresca / ton. concentrado producida o Hidrometalurgia: 0,05 m³ agua fresca/ tonelada - Recirculación de agua: 20% de agua total consumida - Consumo: <ul style="list-style-type: none"> o Agua desalada: 0% o Agua fresca: 80%
<p>Gran minería de hierro (ley de mineral 64% Fe)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia: 0,67 m³ de agua fresca/ tonelada (fuente: varios) - Recirculación de agua: 0 % de agua total consumida - Consumo: <ul style="list-style-type: none"> o Agua desalada: 0% o Agua fresca: 100% 	5-10 años	<p>Gran minería de hierro</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia: 0,5 – 0,55 m³ de agua fresca/ tonelada - Recirculación de agua: 10 % de agua total consumida - Consumo: <ul style="list-style-type: none"> o Agua desalada: 0% o Agua fresca: 90%
<p>Gran minería de oro (ley de mineral entre 0,7 a 3 g Au/t mineral)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia: 0,76 m³ de agua fresca /ton. concentrado producida - Recirculación de agua: generalmente 0 % del agua total consumida (una o dos minas de oro reciclan hasta un 40% de agua (Norgate and Lovel, 2006)) - Consumo: <ul style="list-style-type: none"> o Agua desalada: 0% o Agua fresca: 100% 	5-6 años	<p>Gran minería de oro</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia: 0,60 m³ de agua fresca /ton. concentrado procesada - Recirculación de agua: 20 % del agua total consumida - Consumo: <ul style="list-style-type: none"> o Agua desalada: 0% o Agua fresca: 80%

Los supuestos de la tabla se basan en el uso del agua en la industria de la minería y las proyecciones se hacen en base al uso actual. La cantidad absoluta de agua utilizada en la industria minera continuará más o menos constante en los años futuros según prevé ACIL Tasman (2007). Sin embargo, el volumen de la producción minera se incrementará. La única manera de incrementar la producción manteniendo constante el uso del agua es mediante la reducción del consumo específico por unidad de producto. Esto se puede hacer adoptando tecnologías más eficientes en términos de uso del agua, como por ejemplo el uso de módulos flotantes para reducir la evaporación.

En Australia la minería de cobre es bastante eficiente, sin embargo todavía hay medidas de mejora que se evalúan. Es importante notar que en Australia una pequeña cantidad de agua usada por la industria de minería (menos del 5%) proviene de la red de infraestructura de agua, 15% de agua superficial de los embalses y de los ríos y 75% del agua subterránea. A menudo, el agua subterránea usada es salina e inadecuada para su uso en

agricultura o ganadería. En general el uso de agua en la industria minera en Australia no es una gran cuestión de costos, pero si ha pasado a ser un asunto estratégico desde la cuestión de la licencia social para operar.

El siguiente gráfico entrega cifras promedio de agua consumida por tonelada de mineral de hierro transportada en tren, desde el 2006 - 2011, para las minas ubicadas en la Región de Pilbara en Western Australia.

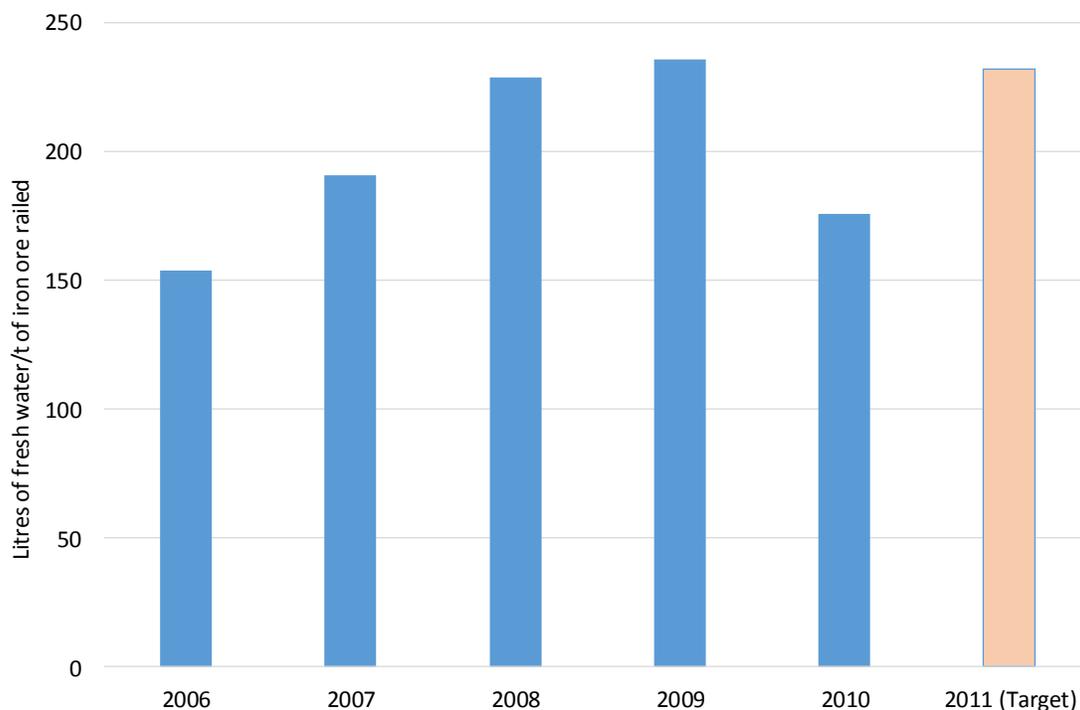


Figura 4-11: Agua fresca usada por tonelada transportada por tren en una gran mina de hierro de Australia (Rankin, 2013).

El uso de agua fresca por parte de esta compañía aumentó desde aproximadamente 150 L/toneladas de mineral de hierro a cerca de 240 L/toneladas de mineral de hierro durante el periodo. Se asume que esto es el resultado de una mayor cantidad de mineral que requiere procesamiento húmedo, una mayor presencia de arcilla y lodos que necesitan de una etapa de lavado, mayores requerimientos de supresión de polvo y/o periodos de precipitaciones inferiores al promedio. No obstante, cifras más recientes publicadas por la compañía sugieren un menor uso de agua desde el 2009 y se muestran en la *Figura 4-12*.

Freshwater used per tonne railed (litres)

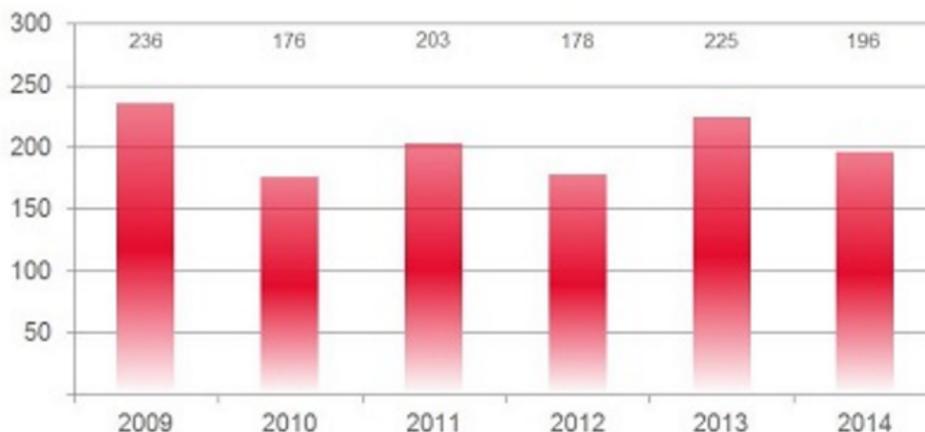


Figura 4-12: Agua fresca utilizada por tonelada de mineral de hierro transportada (litros) (Rio Tinto, 2015)

Rio Tinto indica que estas mejoras en el uso del agua en años recientes puede atribuirse a las siguientes medidas de gestión (Rio Tinto, 2015):

- El grupo Water Steering, presidido por el director ejecutivo de sus minas Pilbara, continuó entregando dirección al negocio en temas de gestión estratégica de agua.
- La maximización del uso del agua proveniente de drenajes en la mina Western Turner Syncline para cumplir con los requerimientos operacionales para la supresión del polvo, procesamiento minero y agua potable, lo que minimizó el volumen del agua descargada en arroyos locales.
- Proyectos de mejora en las operaciones portuarias de Dampier y Cape Lambert, que permitieron el monitoreo diario del uso del agua, entregando un nuevo enfoque y gestión proactiva de los sistemas y actividades hídricos.
- Durante dos años consecutivos han obtenido tres premios de la industria en relación con la mejora de la eficiencia hídrica en sus operaciones portuarias y ferroviarias como parte del programa Water Efficiency Management de la Water Corporation.

A fin de reducir el uso de agua fresca, otra compañía está investigando tecnologías de supresión de polvo químicas y no basadas en agua, aumentando el reciclaje de agua, analizando los actuales procesos de producción para mejorar la comprensión de los requerimientos de humedad y también mejorar la detección de filtraciones y programas de reparación.

Otro conjunto de datos informados por varias minas de cobre determina el valor medio del retiro de agua y su potencial distribución alrededor del valor medio, el que se ha expresado como intensidad hídrica en términos de retiro por tonelada de mineral molido, y se muestra en la *Figura 4-13*.

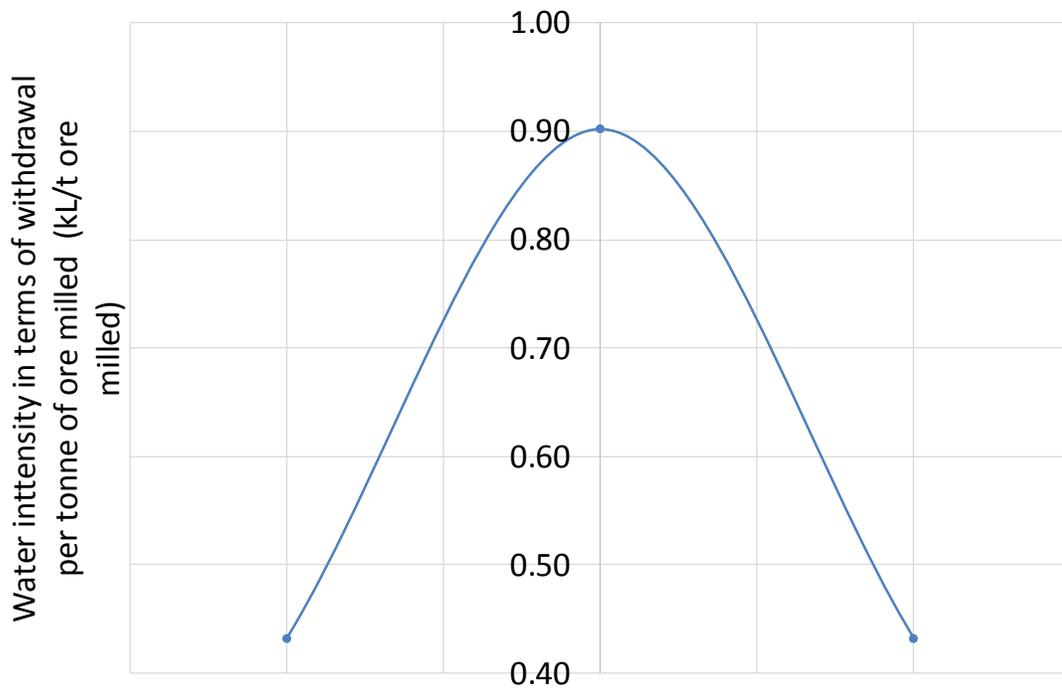


Figura 4-13: Distribución de la intensidad de retiro de agua para molienda de mineral en minas de cobre en Australia

La intensidad de retiro de agua es un indicador de la tasa de extracción de agua para la molienda de mineral. Se determinó que la media para estos datos es $0,9 \times 10^3$ L/tonelada de mineral procesado $\pm 0,4$. Aunque esto no es lo mismo que la huella hídrica mostrada en la *Tabla 4-1*, indica los potenciales requerimientos de agua para una faena. La misma fuente de datos se usó para generar la distribución del reciclaje o reutilización del agua, según se muestra en la *Figure 4-14*, para la mayoría de los sitios que producen cobre que fueron evaluados.

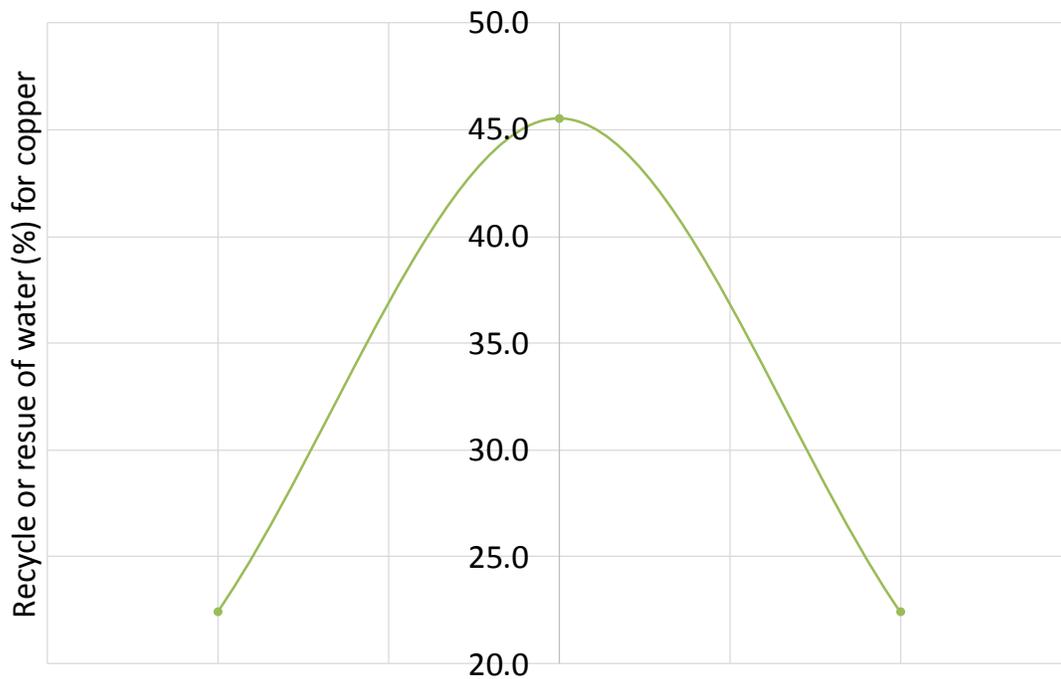


Figure 4-14: Reciclaje y reutilización de agua en minas de cobre seleccionada en Australia

La media para el reciclaje de agua para varias operaciones en Australia se estimó en $45\% \pm 22\%$.

4.4.2 India

En India, el consumo de agua por parte de las industrias fue cercano al 5% en 1998 y la estimación base de uso de agua por parte de las industrias se informó cercana a los 15 GL (Kumar et al., 2005). Asumiendo la tasa de consumo del 2005, se espera que el requerimiento de agua para las industrias alcance 103 GL en el 2050. Sin embargo, indicaron que esto podría reducirse en un 21% a 81 GL si se adoptan tecnologías para el ahorro de agua a gran escala.

Bhattacharya (2010) estimó los índices de sólidos a agua en India para el procesamiento de arcilla, minerales de metales base típicos, carbón, mineral de hierro y mineral de cromita. Los requerimientos de agua son de 2 a 3 kL/t arcilla, 1,5 a 1,8 kL/t minerales de metales base; 0,5 a 2 kL/t carbón; 1 a 2,5 kL/t de mineral de hierro y 1,5 a 1,8 kL/t mineral de cromita. El consumo específico de agua por tonelada de mineral de hierro es superior comparado con el de Australia, presumiblemente debido a la menores leyes del mineral hallado en India, el que requiere de un lavado significativo. Los requerimientos de energía específicos para el mineral de hierro de la India también es muy alto comparado con lo que se produce en Australia.

Actualmente, no hay más información disponible acerca del consumo de agua, ni del uso directo e indirecto por parte de la industria minera de la India o la producción de metales a fin de tener referencias para la operación e identificar oportunidades de reducción.

De acuerdo con el Central Mining Research Institute de India (2000), la mayoría de las minas recircula los efluentes líquidos para su uso en propósitos internos, y lo que no se usa se envía a los depósitos de relaves. Específicamente, en el caso de las minas de mineral de hierro, se indica que la mayoría cuenta con tanques de reposo que restauran la materia de partículas suspendidas. El Central Pollution Control Board del Gobierno de India creó las pautas relacionadas con la gestión hídrica en las minas, las que se resumen a continuación (R. Tiwary, 2000):

- Se deben hacer esfuerzos para procesar o reducir a un mínimo la descarga de efluentes tóxicos y cuestionables a cuerpos de agua de superficie, acuíferos de agua subterránea o terrenos utilizables.
- Los efluentes deben ser tratados a fin de que cumplan con los estándares establecidos por los Central & State Boards for Prevention and Control of Water Pollution antes de su descarga.
- Mientras se adoptan estándares de calidad medioambiental para efluentes líquidos, se debe dar la debida consideración a las condiciones locales, con miras a la posible reutilización.
- El Central Board for the Prevention and Control of Water Pollution debiera preparar pautas para el tratamiento de efluentes líquidos para diferentes industrias minerales sobre la base de problemas específicos relacionados con las características para la industria en particular de los efluentes, el suelo ambiental y la calidad del agua y otros factores relevantes.
- Cuando sea posible, se debe utilizar agua de la mina para regar las plantaciones criadas para estabilizar los depósitos de desechos de la mina.

Una recomendación adicional del Central Mining Research Institute es incluir un concepto de descarga cero en términos de recirculación de agua, que impulse a usarla para propósitos de supresión de polvo, lavado y concentración de mineral (R. Tiwary, 2000).

4.4.3 Resumen

La siguiente sección resume el uso del agua en las minas incluidas en los ejemplos internacionales y también compara estas cifras con las de la Región de Atacama. En relación con la información que se ha encontrado, solo se han hecho comparaciones para las operaciones *medanas de cobre (Tabla 4-2)*, *grandes de hierro (Tabla 4-3)* y *grandes de oro (Tabla 4-4)*.

4.4.3.1 Cobre: Mediana

Tabla 4-2: Comparación de uso de agua en las operaciones de la minería mediana del cobre en la Región de Atacama y Australia

		Región de Atacama (ley de mineral de 0,8 a 0,94% Cu)		Australia (ley de mineral de 0,8 a 1,5% Cu)	
		Situación actual	Situación Esperable*	Situación actual	Situación Esperable**
Eficiencia	Concentración (m³ agua fresca/ton)	0.59	0.5	0.15	0.13
	Hidrometalurgia (m³ agua fresca/ton)	0.15	0.08	0.08	0.05
Fuente de Agua	Recirculación de agua (%)**	40	60	20 – 40	20
	Agua Desalada (%)	No reportada	10	0	0
	Agua Fresca (%)	No reportada	90	100	100

*Situación esperable en un plazo de 5-10 años

** Situación esperable en plazo de 5-6 años

***Del total consumido

La *Tabla 4-2* refleja que en términos de las fuentes de agua utilizada, la mediana minería del cobre de la Región de Atacama tiene un desempeño mejor que el de Australia. En efecto, el uso de agua recirculada es bastante mayor en Atacama que en Australia tanto en la actualidad como en el futuro. Es más, mientras se espera que el agua recirculada en Atacama aumente del 40% actual al 60% en el futuro cercano, en Australia se espera que este parámetro se mantenga constante en un 20%. De manera similar, mientras se espera que en Atacama se logre que el 10% del agua provenga del mar en el futuro cercano, en Australia no hay intenciones en esta dirección, esperándose que a futuro la fuente siga siendo 100% agua fresca.

Sin embargo, la *Tabla 4-2* refleja que en materia de eficiencia hídrica la mediana minería del cobre de la Región de Atacama tiene un desempeño peor que el de Australia. En efecto, la eficiencia de los procesos de concentración es notoriamente más alta en Australia, tanto en la actualidad como con respecto a lo que se espera ocurra en el futuro. Por su parte, si bien en los procesos de hidrometalurgia la diferencia en la eficiencia hídrica entre ambas localidades es menos significativa, sigue siendo importante tanto en la actualidad como a futuro.

4.4.3.2 Hierro: Grande

Tabla 4-3: Comparación de uso de agua en grandes operaciones mineras de mineral de hierro en Huasco, Copiapó, Australia e India

		Huasco		Copiapó		Australia(ley de mineral 64% Fe)		India (ley de mineral de 30 a 66%)	
		Situación actual	Situación Esperable*	Situación actual	Situación Esperable*	Situación actual	Situación Esperable*	Situación actual	Situación Esperable**
Eficiencia (m³ agua fresca/ton)		0.51	0.4 – 0.45	0.51	0.4 – 0.45	0.67	0.5 – 0.55	1 – 2.5	0.79 – 1.98
Fuente de Agua	Recirculación de agua (%)***	47	60	47	60	0	10	No reportada	No reportada
	Agua Desalada (%)	0	20	29	40	0	0	No reportada	No reportada
	Agua Fresca (%)	100	80	71	60	100	100	No reportada	No reportada

*Situación esperable en un plazo de 5-10 años

**Situación esperable en 2050 (21% reducción)

***Del total consumido

La *Tabla 4-3* refleja que en términos de las fuentes de agua utilizada, la gran minería del hierro de la Región de Atacama tiene un desempeño mejor que el de Australia y el de India. En efecto, el uso de agua recirculada es bastante mayor en Atacama que en Australia tanto en la actualidad como en el futuro. Es más, mientras se espera que el agua recirculada en Atacama aumente del 47% actual al 60% en el futuro cercano, en Australia se espera que este parámetro aumente del 0% al 10% durante el mismo tiempo. De manera similar, mientras se espera que en la cuenca de Huasco se logre que el 20% del agua provenga del mar en el futuro cercano, y que en la cuenca de Copiapó se pase del 29% al 40%, en Australia no hay intenciones en esta dirección, esperándose que a futuro cercano la fuente siga siendo 100% agua fresca.

4.4.3.3 Oro: Grande

Tabla 4-4: Comparación de uso de agua en grandes operaciones mineras de oro en Copiapó y Australia

		Copiapó		Australia (ley de mineral de 0,7 a 3 g Au/t mineral)	
		Situación actual	Situación Esperable*	Situación actual	Situación Esperable*
Eficiencia: (m³ agua fresca/ton)		0.19	0.1	0.76	0.6
Fuente de Agua	Recirculación de agua (%)***	No reportada	X	0**	20
	Agua Desalada (%)	0	X	0	0
	Agua Fresca (%)	100	X	100	100

* Situación esperable en plazo de 5-6 años

**una o dos minas usan hasta un 40% de agua recirculada

***Del total consumido

La *Tabla 4-4* refleja que en términos de las fuentes de agua utilizada, es bastante poco lo que se puede inferir con relación a la gran minería del oro de la Región de Atacama, ya que la información disponible es muy escasa. Sin embargo, con respecto a la eficiencia, la *Tabla 4-4* refleja que tiene un desempeño mucho mejor que el de Australia, especialmente si se toma en cuenta la ley del mineral que estas localidades explotan.

4.5 Comparación de brechas

La siguiente sección entrega ejemplos de los estudios de casos internacionales en relación con las brechas de prioridades identificadas en el informe de la Universidad de Chile.

4.5.1 Disminución de evaporación desde tranques de relaves (y pilas de lixiviación)

En ambientes áridos la pérdida de agua debido a evaporación puede representar hasta el 60 – 70%. En Australia, actualmente varias compañías manufacturan pelotas flotantes, cubiertas flotantes, estructuras químicas de una sola capa y otras para dar sombra a fin de minimizar la evaporación desde los depósitos de almacenamiento (Dunne, 2012). El uso de módulos flotantes por parte de Rio Tinto es una de las innovaciones para reducir la evaporación de los depósitos de relaves que tienen el potencial de reducir las pérdidas de agua en hasta 90%. Se han desarrollado módulos flotantes semisumergidos, que reducen la evaporación mientras que todavía permiten la penetración de la luz solar y el intercambio de gases en el agua. Ahora se están fabricando comercialmente y pueden ser utilizados por agricultores y comunidades adicionalmente.

4.5.2 Recirculación de soluciones y regeneración de cianuro en minería de oro

Desde la década de 1970, el uso de cianuro ha sido la tecnología dominante en la extracción de oro. Todavía en Canadá se usan en más del 90% del oro extraído (Wiemeyer, 2004). Debido a razones ambientales, económica

y de seguridad, normalmente se usa lo menos posible, alcanzando usualmente entre el 0,01% y el 0,05% concentración de cianuro de sodio. La gestión y monitorización del agua en las minas es muy importante debido a los vertidos accidentales o intencionales de cianuro a las aguas superficiales. En muchos países hay regulaciones estrictas que indican cuánto cianuro puede ser vertido en el medio ambiente y hay varias tecnologías de tratamiento de agua que pueden retirarlo desde el agua de la mina. Luego de unos derrames de cianuro, el International Cyanide Management Code fue creado en colaboración de muchos actores, incluyendo a las Naciones Unidas (UN), el Banco Mundial, la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OECD), gobiernos e empresas mineras, entre otros. (Mining Facts, 2012)

Si bien la recuperación y el reciclaje de cianuro se conocen desde hace mucho tiempo, su promoción no sólo ha tomado vigor en épocas recientes, especialmente debido a nuevas tecnologías y la preocupación pública. Otro factor que ha fortalecido su reciclaje es que el costo de esta práctica puede ser menor que la asociada a comprar cianuro nuevo. En muchos casos, el reciclaje de cianuro se hace convirtiéndolo al gas cianhídrico (HCN). Sin embargo existe preocupación con respecto a este gas, ya que en muchos casos las capacidades de las empresas mineras para manejarlo de una manera segura son limitadas, lo que ha impedido una mayor difusión de la recuperación de cianuro. Los procesos que se usan para la recuperación y el reciclaje de cianuro incluyen (Fleming, 2003):

- Recuperación directa sin pre-concentración, mediante el reciclaje de relaves.
- Recuperación directa por medio del proceso SART.
- Recuperación directa mediante el proceso AVR.
- Recuperación indirecta de pre-concentración por medio de resinas de intercambio iónico.

Para elegir la mejor tecnología para la recuperación y el reciclaje de cianuro se deben considerar muchos factores, incluyendo los siguientes (Fleming, 2003):

- La composición de los relaves.
- La forma de los relaves (solución o pulpa).
- La eficiencia y el costo de la separación de sólido / líquido.
- Las regulaciones ambientales locales que aplican a descarga final de relaves.
- La disponibilidad de infraestructura y pericia local.

Durante la factibilidad del proyecto, el reciclaje de cianuro debe ser evaluado por todas las operaciones de oro nuevas y también por la inclusión en plantas que ya existen.

Aunque el uso de cianuro puede ser desarrollado de manera segura, alternativas y mejoras se están investigando por parte de empresas mineras. En algunos casos, la concentración de oro puede ser posible usando la separación por gravedad, pero todavía no es económicamente viable en la mayoría de los casos. Si bien la investigación de uso de soluciones alternativas se han estado explorando, en ocasiones se ha descubierto que pueden ser más perjudiciales para el medio ambiente que lo que se busca reemplazar (Mining Facts, 2012).

4.5.3 Eficiencia de espesadores y relaves en pasta

El proceso de espesar relaves permite reciclar el agua a la planta directamente, por lo tanto reduce las pérdidas de agua y también su demanda. Hay una variedad de tecnologías de espesamiento disponibles actualmente. En la *Tabla 4-5* se indican las más comúnmente aplicadas y su potencial total de recuperación de agua de acuerdo con Williams & Williams (2004).

Tabla 4-5: Tecnologías de espesantes aplicada generalmente (Williams & Williams, 2004)

Consistencia de relaves	Requisitos de equipos engrosamiento	Potencial de recuperación de agua
Estiércol líquido (slurry)	Espesante convencional o de la alta tasa	50 – 60
Engrosada (thickened)	Espesante de alta compresión	60 – 70
Pasta de alto asentamiento (high slump paste)	Espesante lecho profundo	≈ 80
Pasta de baja asentamiento (low slump paste)	Filtros	85 - 90

En el año 2012 un proyecto de minería del hierro fue anunciado en el Oeste de Australia (WA) en donde la gestión de relaves secos corresponde a un elemento de especial importancia, diferenciándose de instalaciones tradicionales en el almacenamiento de relaves. El objetivo de este proyecto es a reducir el consumo de agua en aproximadamente un tercio con un ahorro económico de aproximadamente USD\$ 17 millones anuales. La empresa minera indicó que proveerá importante beneficios por el medio ambiente en una zona árida. El sistema va a apilar los relaves con una altura de hasta 95m (realizado con 3 ascensores) durante 20 años, lo que permite la deshidratación, y finalmente la obtención de relaves secos y átonos (Info Mine, 2012).

La disposición de relaves y su impacto en el uso de agua y el medio ambiente es uno de las más importantes preocupaciones de las operaciones mineras durante su vida. La mina de hierro Khumani en Sudáfrica es una operación que ha avanzado mucho en la adaptación de su disposición de relaves y en los procedimientos para la reutilización del agua. Debido a un clima semi árido existen claros límites en la cantidad de agua que está disponible para ser distribuida. A fin de maximizar su capacidad para la reutilización de agua, un proceso de espesamiento de dos etapas fue diseñado e implementado. La primera etapa consiste en dos espesantes primarios con una tasa alta que funcionan como clarificadores, regresando la mayoría del agua a la planta principal. Aparentemente el 90% del agua es recuperada a consecuencia de los espesantes. La segunda etapa consiste de dos espesantes más que recuperan entre el 75% y el 85% del agua de los primeros espesantes. Esto significa que en total aproximadamente el 95% del agua es recuperada, resultando la formación de una pasta de alta densidad (Schmitt, 2015).

4.5.4 Fortalecimiento de la red de apoyo y fomento productivo (especialmente mediana y pequeña minería)

Stornaway es una compañía en Australia que brinda tecnología de monitoreo remoto a más de 30 instalaciones mineras en el país. La tecnología que entregan ayuda a alcanzar niveles óptimos de operación en términos de agua en los sitios mineros mediante el desarrollo de sistemas de apoyo y control que reflejen las necesidades de la industria (Stornoway, 2016). En términos prácticos, esto permite a los ingenieros a ver y monitorear el estatus operacional de la planta en tiempo real, sin la necesidad de viajar al sitio físico. De acuerdo con un informe de la Australian Trade Commission (2013), la tecnología ha demostrado ser beneficiosa, en especial durante los primeros 6 – 12 meses tras la instalación, en términos del apoyo brindado a los operadores de la planta en terreno. Asimismo, entrega herramientas para capacitación y para la solución de problemas, además de reducir el tiempo muerto en la planta y los costos operacionales. Dos de las minas que han implementado esta tecnología Christmas Creek y Cloudbreak, operaciones de mineral de hierro que se ubican en la región Pilbara en WA.

4.5.5 Generación de acciones asociativas para la implementación de nuevas tecnologías y capacidades

Una de las Unidades de Investigación de CSIRO llamada “CSIRO Minerals Down Under Flagship”, ha colaborado con 5 universidades en el País en el desarrollo de una visión para el futuro de los minerales en Australia al 2040 (Mason, y otros, 2011). El objetivo de esta visión es guiar el desarrollo de una estrategia nacional que pueda sentar las bases para que el país contribuya al desarrollo local y mundial. En este proceso diversos actores clave han estado involucrados en ampliar la discusión acerca el futuro de los minerales en Australia. Un resumen de los temas claves de este proyecto son los siguientes (Mason, y otros, 2011):

- La construcción de beneficios a largo plazo para Australia.
- Mirar hacia el futuro para salir adelante.
- Desarrollo de una marca “Australia”: minerales responsables.
- Desarrollo de una estrategia nacional de minería.

En Sudáfrica el “Mining Sector Innovation Strategies Implementation Plan” (2012 – 2017) ha estado desarrollado con un foco en el desarrollo colaborativo de tecnologías para mejorar la competitividad del sector. Este plan de 5 años incluye lo siguiente (Technology Innovation Agency, 2012):

- El estado de la investigación y el desarrollo en el sector.
- Las necesidades y requisitos de stakeholders.
- Las oportunidades y desafíos del sector minería.
- Las tecnologías emergentes.

4.5.6 Manejo de depósitos de relave y gestión de cierre de faenas

En Australia y en todo el mundo, los sitios mineros heredados se están transformando en un problema cada vez mayor para las compañías mineras, los gobiernos y las comunidades. Una de las principales preocupaciones son los impactos medioambientales a largo plazo en términos de calidad de agua de superficie y subterránea, tanto en la propiedad como aguas abajo. En particular, el drenaje ácido de mina (AMD por sus siglas en inglés) puede afectar enormemente la calidad del agua durante períodos que van desde los cientos a los miles de años. Los depósitos mineros, las instalaciones de almacenamiento de relaves, las plantas de procesamiento y los depósitos de roca de desecho están fuertemente asociados con la contaminación del agua. A lo largo de Australia, las agencias gubernamentales de los estados han asumido la responsabilidad de la gestión y la rehabilitación de varios sitios mineros heredados de alto perfil. Se han habilitado estrictas regulaciones medioambientales para la industria minera a fin de proteger los ambientes más frágiles. El monitoreo de numerosos contaminantes, emisiones y desechos provenientes de las actividades de procesamiento se realizan bajo estrictas medidas y se informan a las autoridades cuando es necesario (Australian Trade Commission, 2013).

Hay una manual comprehensivo del Gobierno de Australia acerca la gestión de relaves para la industria minera del país que incluye la gestión del agua. Específicamente el gobierno requiere de un informe de diseño acerca de la planificación de la gestión del agua, entre otras cosas, antes de que la instalación sea aprobada. De acuerdo al manual, las siguientes consideraciones deben ser tenidas en cuenta en el diseño, operación y cierre del depósito de relaves (Department of Industry, Tourism and Resources, 2007):

- la disponibilidad de agua con una calidad aceptable
- los distintos usuarios que compiten por el agua y el valor que la comunidad le da al recurso
- los caudales y las distancias de bombeo
- reducir las pérdidas por evaporación
- minimizar la salinidad y la generación drenajes de ácidos y metalíferos

- controlar la descarga de químicos de los procesos
- gestionar el tratamiento de agua y su descarga al medio ambiente
- reducir la filtración al agua subterránea
- reducir los riesgos asociados con el almacenamiento de agua en los depósitos de relaves, lo que podría incluir el cercado del perímetro, minimizar el área de agua estancada, redes o ruido intermitente para alejar a las aves.

Este manual también proporciona las medidas necesarias para cerrar instalaciones de almacenamiento de relaves. Consideraciones críticas sobre el diseño del cierre están relacionadas con la estabilidad geotécnica y de la superficie de la forma del terreno; también con el control de la contaminación a través de diseño y construcción de cubiertas superficiales y tratamientos. De acuerdo a este manual, lo siguiente debe ser considerado cuidadosamente (Department of Industry, Tourism and Resources, 2007):

- el uso de la tierra y la forma del terreno final, posterior al cierre
- provisión financiera
- plan de monitoreo y mantenimiento posterior al cierre.

La figura que sigue muestra un ejemplo australiano de un área de almacenamiento relaves antes y después del cierre, donde se implementó un programa de revegetación directa.



Figura 4-15: Instalación de almacenamiento en Kidston, mina de oro en el norte de Queensland, antes (izquierda) y unos años después (derecha) (Department of Industry, Tourism and Resources, 2007).

En India, existen regulaciones mineras respecto del cierre de faenas mineras, las que estipulan que se requiere de un plan de cierre de mina aprobado para permitir su reclamación. Se espera que este plan aborde los temas medioambientales relacionados con el aire, el agua y la protección de los terrenos, la rehabilitación y reclamación de terrenos, gestión de tierra vegetal y de sobrecarga y el control de hundimiento de superficie, vibración de terrenos y restauración de la flora (Ministry of Mines, 2015). En Goa, los sitios mineros reclamados a menudo se usan para forestación y en varios casos, se crean reservorios para piscicultura a partir de depósitos mineros cerrados (Ministry of Mines, 2014).

4.5.7 Potenciales tecnologías para el ahorro de agua en minas

Se recomiendan los siguientes pasos (Levy et al., 2006) para reducir el uso del agua por parte de la industria:

- Identificar usos del agua y fuentes de agua
- Monitorear calidad del agua
- Crear un balance hídrico

- Buscar oportunidades para redistribución de agua
- Evaluar la necesidad para tratamiento de agua
- Seleccionar la mejor estrategia de tratamiento

En el depósito minero de Cloudbreak en Australia se usa un sofisticado esquema de Managed Aquifer Recharge (MAR) que entrega un sistema de gestión hídrica que es beneficioso para el medioambiente y conserva un recurso escaso. El agua salobre se usa en el depósito minero, en una cantidad de 25×10^9 L por año, debido a la limitación de la disponibilidad de agua. No obstante, este esquema ha permitido el retorno de 18×10^9 L por año (más de la mitad) al medioambiente mediante reinyecciones a través de perforaciones, lo que ha resultado en un uso neto de agua de solo 7×10^9 L por año. Este esquema ayuda en la conservación de un recurso precioso para futuros usos. (Australian Trade Commission, 2013).

Una lista de nuevas tecnologías con el potencial de reducir el uso del agua en sitios mineros se describe en la *Tabla 4-6*. La mayoría de estas tecnologías siguen en la fase de investigación y desarrollo (R&D). No obstante, hay ejemplos de nuevas tecnologías utilizadas en sitios mineros, tales como: agua hipersalina de perforaciones utilizada en algunas minas de Australia Central para molienda de minerales, y la flotación con agua de mar en la mina Las Luces en Chile. Tales tecnologías se encuentran ya en aplicación en Chile por más de 30 años, (Mineras Centinela y Tesoro de AMSA por ejemplo). La instalación de estas tecnologías sigue requiriendo de una acabada evaluación en términos de atractivo económico y disposición e idoneidad comercial para operaciones individuales. Actualmente, la principal razón para no adoptar nuevas tecnologías se debe al costo de capital asociado.

Tabla 4-6: Ejemplos de tecnologías de ahorro de agua para la industria minera

Etapas	Tecnología	Breve Descripción
Procesamiento Mineral	Mejora en clasificación de mineral	Reducción de cantidad de material necesario para procesamiento. Aún no se usa comercialmente.
	Flotación con agua de mar, lixiviación con agua de mar	El uso de agua salina en procesos de flotación o lixiviación reduce los requerimientos de agua fresca para procesamiento. Algunas minas en Western Australia usan agua de pozo hiper-salina para molienda y procesamiento.
	Reducción en seco	Uso de separadores electro-estáticos y magnéticos en la primera parte del organigrama para reducir la dependencia completa del procesamiento húmedo. Solo se ha usado en minas de arenas minerales en Australia.
	Chancado seco	No usa agua para chancar pero necesita abordar el tema del polvo. No se usa comercialmente.
	Clasificación rotativa en seco	Mejora en nivel /enriquecimiento de minerales, posibles ahorros de agua de 5% – 50%. Aún no se usa comercialmente.
Instalación de almacenamiento de relaves	Tecnología de reducción de arrastre	Permite bombear los relaves espesados, por lo que es posible reciclar más agua para procesos upstream. No se usa comercialmente. Se realizó prueba en una mina australiana.
	Tecnología de reducción de escamas en tuberías	Elimina formación de escamas inorgánicas en las tuberías. Trabaja permitiendo que pequeñas cantidades de diluyente o solvente se filtren en la superficie porosa de una tubería interna. Testeada en laboratorio y patentada. Aún no se usa comercialmente.
	Relaves en pasta espesados	Disminuye la pérdida de agua en las instalaciones de almacenamiento de relaves.
	Cortina de relaves (por ej.: CSIRO Virtual Curtain)	Lleva a una mejor precipitación de contaminantes, aumentando el potencial para lograr un reciclaje rentable del agua. Se realizó una prueba en una mina de Queensland para drenaje de depósito minero.
Reservorios, sitios para almacenaje de agua	Paneles solares flotantes	Es cada vez más común la instalación de conjuntos de paneles solares flotantes en sitios mineros a fin de producir electricidad renovable a la vez que reducen la tasa de evaporación de agua de los reservorios. Aún no se usa comercialmente.
	Módulo de flotación para reducción de evaporación en reservorio de almacenamiento de agua (Figure 4-16)	El uso de módulos flotantes circulares puede reducir la evaporación anual en hasta un 90%, según se informó a partir de una prueba realizada en una mina de cobre australiana (mina North Park).



Figure 4-16: Módulos flotantes en un reservorio para almacenamiento de agua a fin de reducir la evaporación para una mina de cobre australiana (de la Australian Leading Practice Guide for Water Management, prueba en la mina North Parkes, NSW, Australia)

4.6 I + D + i

4.6.1 Experiencia internacional

La asociación de la industria minera de Australia (Mineral Council of Australia) ha indicado que sus miembros han invertido cantidades considerables para la mejora de la gestión hídrica (MCA, 2012), pero no existe información cuantitativa disponible relacionada con la inversión y su impacto. El tema del agua en Australia se considera más importante desde el punto de vista de la “Licencia Social para Operar”, en vez del costo, ya que el agua disponible para la industria sigue siendo razonablemente barata en comparación con otros países.

Una iniciativa reciente ha sido propuesta, según la cual las industrias mineras recibirán agua de una tercera parte, en vez de gestionarla por sí mismas como modelo de contrato hídrico. La industria pagará por el servicio de manera similar a los clientes residenciales que reciben el suministro y pagan por su uso a los proveedores de agua. Se espera que dicha medida impulse la eficiencia hídrica para los sitios individuales donde el agua se trata como insumos internos para el proceso.

La Industria Mineral en Australia sigue las pautas según los esquemas de la National Water Initiative (National Water Commission, 2014). El objetivo de esta iniciativa era que los gobiernos de Australia acordaran acciones para alcanzar un enfoque nacional más cohesivo respecto de la forma en que Australia gestiona, mide, planifica, pone precio y transa el agua. Según la iniciativa, se formó una National Water Commission, misma que operó durante casi una década, pero que actualmente ya no funciona.

Centros de investigación internacional, tales como el Centre for Water in the Mining Industry se ubican dentro de la Universidad de Queensland, que actualmente implementa proyectos para promover y educar a la industria acerca del Water Accounting Framework con el apoyo de los Mineral Councils of Australia, la asociación predominante para la industria. El principal objetivo es fomentar a la industria a implementar y comprender la contabilidad mejorada del agua.

El sector minero en India es una industria esencial para el país; no obstante, sigue necesitando de tecnología y conocimiento avanzados en cuanto a medidas de cierre de mina, minería en fondo marino y minería sostenible (British Geological Survey, 2015). Se estableció un programa de cooperación entre Australia, Canadá e India a fin de fijar metas de creación de capacidad en las muy necesarias áreas de desarrollo en la industria. El Ministerio de Minería de la India es responsable por la exploración y el desarrollo de la industria mineral a nombre del gobierno y ha destacado las oportunidades en el sector como parte de varios eventos mineros

internacionales a fin de atraer Inversión Directa Extranjera (FDI, por su sigla en inglés) (British Geological Survey, 2015). La Indian School of Mines en la Universidad de Dhanbad, es la institución académica líder clave para la industria de la minería y los minerales. El National Metallurgical Laboratory en Jamshedpur es otra institución de investigación líder para la industria de minerales y metales en India.

Las pautas emitidas por el Ministerio de Minería en el 2013, apuntan a entregar apoyo en Investigación Minera y, además, con la idea de promover el área de R&D en el sector minero, se ha lanzado un completo programa de Ciencia y Tecnología, el que incluye:

- Investigación y desarrollo
- Información, Educación y Comunicación (IEC)
- Inversión de capital única para las instalaciones de R&D del Jawaharlal Nehru Research Development & Design Centre, y el National Institute of Miners' Health and National Institute of Rock Mechanics.

4.6.2 Potencial regional

La visión en un escenario de alta razonabilidad y equilibrio con los otros sectores (agrícolas, poblacional, social) de la actividad minera-metalúrgica podría ser la siguiente en materia de I+D+i:

- Inversión por parte de un Consorcio Minero y el Estado en un Centro de Investigación Minera, en alianza con la Universidad de Atacama, que se centre en el recurso hídrico de la región de Atacama y cuyas misiones sean estudios de desarrollo y aplicación tecnológica, tales como:
 - o Tecnologías y procedimientos de recuperación eficiente de aguas de tranques de relaves.
 - o Procesos mineros y metalúrgicos con mayor eficiencia en el uso del agua y de su recuperación.
 - o Tecnologías de remediación y estabilización de tranques de relave según normas ambientales.
 - o Tecnologías de monitoreo en tiempo real y vigilancia continua de descargas, infiltraciones de aguas de procesos de la minería a los cauces y cuerpos de agua de la cuenca en estudio.
 - o Tecnologías por ejemplo de concentración de minerales en seco (actualmente se estudia el ore sorting; tecnología de plasma) de manera de ocupar menos agua en flotación de minerales.
 - o Mejoramiento de la lixiviación en pilas en orden a acortar los ciclos de lixiviación, y de esta manera el consumo específico m^3 agua/ton de mineral, es menor.
 - o Tecnologías de minimizar evaporación en tranques de relave.
 - o Nueva tecnología de descarga de relave cero, lo que significa un quiebre tecnológico total en minería.
 - o Tecnologías de recuperación de valores desde relaves y rípios abandonados.
 - o Aspectos legales y vigilancia ambiental de la cuenca en estudio.
- La existencia de un Centro de Investigación Minera, aparte de aportar en tecnologías y procedimientos que están orientados exclusivamente a una mayor eficiencia del recurso de agua en Minería, y a emplear menos agua de la cuenca y de los cauces naturales que se originan en cordillera, en conjunto con la Universidad de Atacama podría formar profesionales con una visión emprendedora en el tema recurso de agua y sustentabilidad ambiental de la región interconectados con los otros sectores productivos. Especializaciones del recurso humano que se visualizan en este Centro son las siguientes:
 - o Ingeniería Ambiental con enfoque en ecosistemas de regiones áridas.
 - o Ingeniero electrónico especializado en monitoreo sensores y plataformas modernas de control del recurso hídrico de la cuenca en tiempo real.
 - o Ingenieros Hidrometalúrgicos enfocados al tema del agua en la minería.
 - o Ingenieros mecánicos y eléctricos en el diseño o mejoramiento de equipos que permitan un mayor ahorro de agua.

- Físicos y Químicos con grado de Doctor del Centro que se enfoquen a desarrollar nuevas tecnologías u optimizar actuales procesos metalúrgicos de manera de manejar eficientemente el agua en los distintos procesos mineros.

Es importante notar que la sustentabilidad técnica, financiera y social de un posible Centro de Investigación Minera en la región depende tanto de los aspectos substantivos (áreas de investigación, programas de educación, capital humano, etc.) como de aspectos del modelo de gestión o de negocios del mismo. En otras palabras, la supervivencia de posible centro dependerá de manera crucial de la gobernanza del mismo y de la manera en que generará recursos financieros a largo plazo. En este sentido el diseño institucional del mismo es extremadamente relevante para su éxito.

4.7 Discusión y Recomendaciones

La siguiente sección tiene por objetivo resumir los resultados del análisis en el sector minería, y también discutir barreras económicas y sociales que existen en Chile y/o la región de Atacama, con la intención de proporcionar una visión de la superación de estas barreras. Finalmente, se proporcionan recomendaciones generales para mejorar la situación actual del sector en la región.

4.7.1 Reflexiones del estudio

Las metas de eficiencia hídrica en el Sector Minería definidas por el Informe han sido comparadas con las cifras de Australia, y de manera indirecta con la experiencia de India. Los resultados indican que a la luz de la experiencia de Australia, la mediana minería del cobre de la Región de Atacama está haciendo bien las cosas en materia de las fuentes de agua que utiliza, ya que espera integrar agua de mar en sus procesos y reutiliza una parte importante del agua que consume. Sin embargo, su desempeño con respecto a cómo usa el agua que alimenta sus procesos no es tan alentador, ya que sus cifras en materia de eficiencia hídrica están muy por debajo de las australianas. Esto parece indicar que la mediana minería del cobre de la Región de Atacama debiese concentrar sus esfuerzos en este último aspecto de la gestión de los recursos hídricos si quiere estar a la par con lo que ocurre en el plano internacional.

Por su parte, refleja que en materia de eficiencia hídrica la gran minería del hierro de la Región de Atacama tiene un desempeño mejor que el de Australia y el de India, especialmente si se toma en cuenta la ley del mineral que estas localidades explotan. Estas cifras parecen indicar que la gran minería del hierro en la Región de Atacama está bien encaminada en la gestión del recurso hídrico, tanto con respecto a las fuentes de agua que utiliza como a la eficiencia con que usa el agua proveniente de estas fuentes. Las cifras de la gran minería del oro parece indicar que en la Región de Atacama está bien encaminada en la gestión del recurso hídrico, al menos con respecto a la eficiencia con que se usa el agua. Con relación a las fuentes de agua utilizadas, antes de emitir un juicio es necesario desarrollar nuevas investigaciones. Sin embargo, es complejo refrendar estas cifras dado que el consumo de agua fresca en cada tipo de proceso depende de diversos factores, especialmente de la meteorología, hidrogeología y mineralogía del yacimiento, además de otros.

En base a los análisis de las brechas identificadas, éstas fueron comparadas con lo que ocurre en Australia y en otras latitudes para mejorar los conocimientos del estado y/o avance de la región con respecto a lo que ocurre en el mundo y para dar ejemplos reales que puedan ser implementados en Atacama. Además, se revisaron ejemplos de investigaciones, desarrollo e inversiones de otros países para apoyar las recomendaciones futuras para la región. En este sentido, las iniciativas para reducir el consumo de agua priorizadas por el estudio de Universidad de Chile parecen apuntar en la dirección correcta. Es decir, están en línea con lo que está ocurriendo a nivel internacional en donde se están poniendo en marcha los mismos tipos de arreglos tecnológicos para reducir el consumo de agua. Sin embargo, no se cuenta con una comparación de la costo-efectividad de las brechas tecnológicas priorizadas para mejorar la eficiencia del uso del agua en cada uno de los sub-sectores de la minería.

Una dificultad adicional para realizar un ejercicio de benchmarking es establecer con certeza qué variables están siendo consideradas en los distintos índices estimados por las diversas fuentes de información. De todos modos, es importante notar que en Australia y otros países una iniciativa a la que se le da mucha importancia, y que está ausente de las iniciativas priorizadas por el estudio de Universidad de Chile, corresponde a programas y guías para generar metodologías estandarizadas de cómo contabilizar los usos del agua en la minería. Sería muy útil aplicar estas metodologías al caso de la Región de Atacama (y al de Chile en general), ya que el primer elemento para hacer una buena gestión del recurso hídrico es contar con un buen sistema de contabilidad hídrica: *lo que no se puede medir, no se puede gestionar*.

4.7.2 Análisis de barreras económicas y sociales

Es importante hacer ver que la adopción de tecnologías internacionales por parte de la minería de la Región de Atacama está condicionada no sólo por factores de orden tecnológico, sino que también por aspectos de carácter más económico y social. A grandes rasgos, se puede percibir una falta de amplitud cultural por parte de las empresas, académicos y organismos públicos que operan en Atacama, los que focalizan sus esfuerzos y actividades casi exclusivamente en la extracción y venta de los recursos mineros, no existiendo un verdadero clima de “sustentabilidad minera” en la región.

En términos económicos sería muy beneficioso que tanto las entidades públicas mineras (Seremi y ENAMI) consideren en sus políticas de fomento no sólo aspectos netamente productivos sino que también de gestión del recurso hídrico (y los recursos naturales en general). Tampoco existe normativa relacionada con el recurso hídrico que haga realmente exigente el desempeño hídrico de las operaciones mineras (la escasa normativa en esta materia es cumplida con holgura por el sector). Otro aspecto que dificulta la adaptación tecnológica por parte de la mediana minería en la Región de Atacama es que la mayoría de las plantas fueron diseñadas e implementadas con equipos y circuitos que no fueron pensados para minimizar el uso de agua, y que cambiar estas características es muy difícil sin ayuda financiera por parte del Estado.

A esto se le suma la escasa incorporación de profesionales especializados por parte de la industria minera regional, principalmente debido a que el móvil que rige la operación de las mineras parece ser de carácter netamente económico, el cual deja de lado aspectos que no tengan una relación directa con la reducción de costos y/o el aumento de la producción al corto plazo. En este sentido, es difícil que inviertan en un especialista en recursos hídricos, en innovación o en transferencia tecnológica, ya que las empresas mineras de Atacama tienden a entender las innovaciones y los cambios tecnológicos como un gasto y no como una inversión.

Suponiendo que las empresas mineras estuviesen dispuestas a invertir en capital humano avanzado o en cambios tecnológicos asociados a la gestión de recursos hídricos, la región no cuenta con un centro que genere estos expertos o apoye la transferencia tecnológica. Esto se contradice con lo que ocurre en otras regiones del país, las que cuentan con centros de este tipo apoyados por CONICYT, ya sea con fines hídricos y/o mineros. Si bien existen algunas alianzas público-privadas en la región, en donde la Universidad de Atacama registra convenios con algunas empresas mineras, los resultados no son del todo alentadores. En pocas palabras, los centros de investigación existentes en la región distan mucho de lo que hacen centros coordinados por CODELCO con algunas universidades y empresas locales en otras regiones del país.

De este modo, si la intención es traer a la región tecnología de vanguardia o casos de éxito de otros países, será necesario realizar un cuidadoso estudio de adaptación y generar estrategias de inserción de los cambios que se requieran, incluyendo charlas de socialización y mesas de trabajo con empresarios, autoridades e investigadores con el fin de entender los elementos económicos, sociales y culturales que permitieron su aplicación en el país de origen, contrastar esta realidad con la situación regional y diseñar los mecanismos necesarios para gatillar un cambio real en la industria.

4.7.3 Recomendaciones generales

- Aumentar el apoyo gubernamental a través de normativas e incentivos para reducir el consumo de agua y hacerlo más eficiente.
- Profundizar la colaboración entre las organizaciones del gobierno, las empresas privadas y organizaciones de investigación para asegurar que la inversión en nuevas tecnologías y capital humano sea lo más eficiente posible.
- Asociarse con organizaciones de reputación internacional, como CSIRO y el Centre for Water in Mining Industry de la Universidad de Queensland para nuevas iniciativas respecto de la gestión hídrica en Australia.
- Invertir en un Centro de Investigación de Minería y Agua regional en alianza con la Universidad de Atacama, las empresas mineras y el Estado cuyo foco sea el desarrollo de investigación aplicada y la transferencia tecnológica.
- Fomentar que las labores del Centro de Investigación de Minería y Agua incluyan no sólo aportar en materia de tecnologías y procedimientos orientados a una mayor eficiencia del recurso de agua en la minería, sino que también la formación de profesionales con una visión emprendedora en el tema recurso de agua y sustentabilidad ambiental de la región interconectados con los otros sectores productivos.
- Promover la inversión en tecnologías que reduzcan el uso de los recursos hídricos (no sólo centrarse en otras fuentes de agua como el agua desalada) y asegurar su aplicabilidad a todo tipo de minas y procesos metalúrgicos incluyendo la pequeña minería.
- Invertir en capital humano mediante el aumento de los estudios de postgrado focalizados en los recursos hídricos en la minería, proporcionando incentivos para que los potenciales alumnos puedan cursar dichos estudios.
- Fomentar la contratación de estos profesionales en empresas mineras.
- Desarrollar capacidad para adoptar herramientas para contabilidad de agua (por ej.: WAF o el estándar International Water Footprint ISO 14046 - 2014) a nivel de faena para un sitio que sirva como caso de estudio específico en Chile y que pueda ser usado como referencia con respecto a otros sitios.

5 Sector Sanitario

5.1 Antecedentes generales

En años recientes, el sector sanitario de la Región de Atacama ha estado bajo escrutinio público principalmente debido a la baja calidad de los servicios de suministro de agua potable, tanto por la falta de continuidad, como por la presión y la calidad del agua suministrada. Aunque este sector no contribuye a la productividad económica directamente, el agua es esencial para sostener la salud de los ciudadanos. En un reciente artículo de La Tercera (2016), se indica que la Región de Atacama presenta el mayor número de lugares con calidad del agua bajo la norma.

5.2 Casos internacionales a ser analizados y comparados

Los casos internacionales que han sido seleccionados para su análisis y comparación con el sector sanitario de la Región de Atacama, Chile, son Israel, España y Australia. Esto se debe mayormente al considerable progreso logrado en la mejora de la gestión hídrica en años recientes y que, por ende, presentan los mejores casos para su comparación dentro de estas áreas. A continuación se entrega un breve resumen de cada país en relación con el sector sanitario.

5.2.1 Israel

La seguridad en la distribución del agua en Israel ha sido una prioridad nacional durante décadas, lo que queda demostrado mediante sus innovaciones y eficiencias dentro del sector. Como resultado de avances tecnológicos de punta, especialmente en el tema de desalación y tratamiento de aguas, a menudo se considera que la industria hídrica en Israel está allanando el camino hacia una nueva era en la gestión eficiente de recursos hídricos (Strauss Water, 2015). Asimismo, a pesar de enfrentar una creciente población y mayor actividad agrícola, el consumo de agua potable global no ha seguido la misma tendencia, manteniéndose casi constante (Ministry of Industry, Trade and Labour, 2009).

5.2.2 España

España se considera como un líder mundial en la desalación, y el tratamiento de agua y de aguas residuales. La industria sanitaria de España ha estado creciendo a nivel internacional, y actualmente es un importante productor de agua desalada tanto en Europa como en Latinoamérica y se ubica en el primer y cuarto lugar en gestión hídrica en Latinoamérica y en el mundo, respectivamente. (Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación, 2012).

5.2.3 Australia

El conocimiento del sector hídrico de Australia es demandado a nivel internacional, por lo que tiene compañías activas en todo el mundo. En particular, sus capacidades en gestión de sistemas, gobernanza y tecnologías para el tratamiento de recursos hídricos, entre otros, son ampliamente respetadas y generan un sector económico competitivo. Cabe destacar que la industria hídrica urbana ha obtenido grandes logros, con un alza en la productividad superior al 50% en las últimas dos décadas, lo que se atribuye principalmente a la reforma en el sector. Asimismo, la eficiencia en el uso del agua en Australia per cápita se considera como una de las mejores en el mundo desarrollado (Australian Trade Commission, 2013).

5.3 Resumen de lo contenido en los informes de la Universidad de Chile

En el Informe Final Etapa II: Identificación de Oportunidades y Levantamiento de Brechas (U de Chile, 2016) se han descrito y cuantificado las brechas competitivas y de componente tecnológica en base a i.) la opinión de expertos, ii.) reuniones técnicas con profesionales, y iii.) la revisión de información secundaria. Posteriormente se han propuesto indicadores para medir el avance desde la situación inicial a una situación esperada definida.

Posteriormente en el Informe Etapa III: Diseño de Hoja de Ruta (U de Chile, 2016) se priorizan las brechas, se identifican las acciones para cerrar las brechas, se establece un programa, y se proponen los Comités Gestores y los indicadores para realizar el seguimiento.

Este análisis se ha realizado para la Región de Atacama individualizando sectores económicos (minero, agrícola, sanitario, intra-domiciliario y transversal) y a su vez cuencas (Río Salado, Río Copiapó y Río Huasco).

La situación actual y la Meta a 3-4 años establecida para la Región de Atacama se presentan en la *Tabla 5-1*.

Tabla 5-1: Meta de reducción de la cantidad de agua no facturada (fuente: modificado de U de Chile, 2016)

	Situación Actual	Situación Esperable*
Agua No Facturada	289,4 l/s (34%)	255,3 l/s (30%)

* Situación esperable en un plazo de 3-4 años

Respecto de la componente de infraestructura tecnológica se identifican las siguientes brechas y su priorización:

- Prioridad Alta:
 - o Monitoreo en tiempo real de calidad del agua
 - o Desalación / Osmosis inversa
- Prioridad media
 - o Automatización de sistemas de presiones y caudales
 - o Monitoreo en línea de presiones y caudales (diurno / nocturno)
 - o Tecnologías de macro y micro medición
 - o Se planifica la disponibilidad de recursos respecto a fuentes existentes y nuevas
- Prioridad Baja
 - o Sistemas de información territorial para control de pérdidas y gestión de activos
 - o Se evalúa principales factores asociados a pérdidas (antigüedad de red, tipos de suelos, etc.)
 - o Detección de redes no operativas (IHRIGPR)
 - o Detección de fugas e ilícitos
 - o Infraestructura de acuartelamiento de sectores de la red (district metered áreas)

De acuerdo con los contenidos del Informe Preliminar “Diseño de la Hoja de Ruta”, la propuesta de CSIRO y el análisis desarrollado durante el presente proyecto, las brechas que son analizadas son las siguientes:

- Desalación / Osmosis inversa
- Reutilización de aguas residuales

5.4 Comparación de consumos

A fin de poder comparar la situación en forma efectiva con la Región de Atacama, en la medida de lo posible se han buscado las cifras del *agua no facturada* para cada caso internacional (la definición de *agua no facturada* en el caso de Atacama aplica el mismo concepto que a nivel internacional). Esto también permitirá interpretar si los objetivos deseables establecidos por la Universidad de Chile en este caso resultan razonables.

En 1996, la American Water Works Association recomendó como valor de referencia el 10% de *agua no facturada* (UFW, por su sigla en inglés). Específicamente, entregaron los siguientes criterios y la acción requerida (AWWA Leak Detection and Water Accountability Committee, 1996):

- < 10% UFW = Aceptable; monitoreo y control.
- 10 – 25% UFW = Intermedio; puede reducirse.
- > 25% UFW = Nivel preocupante; se necesita reducción.

5.4.1 Israel

Si bien no se han encontrado valores absolutos de caudal de *agua no facturada* en Israel, de acuerdo con estudios gubernamentales, el sector urbano redujo la cantidad de *agua no facturada* desde un 15% a un 10% (Municipal Water Works Administration, 2012); (Water Authority, 2012).

5.4.2 España

De los 4.485 hectómetros (hm³) de agua provista a la red de agua urbana en el 2012 en toda España, 1.147hm³ (aproximadamente un 25%) resultó no facturada (Instituto de Nacional Estadística, 2012).

5.4.3 Australia

En Australia, el *agua no facturada* en el sector urbano de distribución de agua dentro de cada estado marcó un promedio del 11% (con un rango de entre 8% – 17%) entre los años 2009 y 2010. Esto representa un total aproximado de 375 hm³. (Australian Bureau of Statistics, 2011).

5.4.4 Resumen

La *Tabla 6.2* resume los niveles de agua no facturada de los casos internacionales a fin de permitir una comparación con la situación actual y esperable en la Región de Atacama. Los tres casos internacionales muestran una cantidad de *agua no facturada* considerablemente inferior a lo registrado actualmente en la Región de Atacama.

Tabla 5-2: Comparación del agua no facturada como porcentaje

	Israel (2012)	España (2012)	Australia (2009 -2010)	Atacama (2015)	Atacama (esperable)*
Agua no facturada (UFW)	10%	25%	11%	34%	30%

* Situación esperable en un plazo de 3-4 años

5.5 Comparación de brechas

La siguiente sección describirá varios casos internacionales que demuestran una gestión eficiente del agua en el sector sanitario, en relación con las brechas identificadas. Como ya se indicó, los países elegidos han mostrado un progreso especialmente positivo dentro de este sector, por lo que proveen ejemplos válidos contra los cuales se pueden generar comparaciones.

5.5.1 Desalación / Osmosis inversa

En el Estado de Israel se inició en el año 2005 un programa de construcción a largo plazo destinado a entregar plantas de desalación a gran escala con la idea de contribuir a la distribución de agua potable a nivel nacional. Con un costo de US \$750 millones, se construyeron tres grandes plantas de desalación de agua de mar, las que combinadas con numerosas plantas de desalación de agua salobre más pequeñas cubrían un 42% de los requerimientos del agua para uso doméstico al 2010 (Water Authority Planning Department, 2010). Aparte de las instalaciones de desalación se está desarrollando un proyecto a 10 años (que debe completarse antes del 2020), para la construcción de un sistema de transporte con tuberías y bombeo, que transportará el agua desalada dentro de todo Israel (Planning Department of the Israeli Water Authority, 2011).

Los objetivos nacionales establecidos el 2010 para mejorar la eficiencia hídrica, incluyeron lo siguiente respecto del agua desalada (Water Authority Planning Department, 2010):

- Reemplazo del uso de agua potable natural con fuentes alternativas, incluyendo agua de mar desalada, efluentes (aguas residuales tratadas) y agua salobre, para cubrir más de la mitad de los requerimientos de agua del país antes del 2015 con estas fuentes de agua alternativas.
- Duplicar con creces la contribución del agua desalada al suministro nacional de agua potable, desde un 20% ($307 \text{ m}^3 \times 10^6$) en el 2010 a un 46% ($809 \text{ m}^3 \times 10^6$) en el 2020.

En la *Tabla 5-3* se presentan con detalle los objetivos de desalación a largo plazo del país.

Tabla 5-3: Objetivos nacionales y calendario para la mejora de la eficiencia hídrica en el sector sanitario (Water Authority Planning Department, 2010).

Año	% de fuentes de agua alternativas (desalada, efluentes y salobre)	Volumen de agua desalada ($\text{m}^3 \times 10^6$)
2010	44	307
2015	54	558
2025	61	835
2050	71	1491

De acuerdo con MIT Technology Review (2013), España se encuentra entre los mayores productores mundiales de agua desalada, con una producción que supera a la de todos los otros países de Europa. Recientemente España ha ampliado su área de acción para el agua desalada y ha incorporado áreas no áridas. Un ejemplo de esto es la planta para desalación construida en el 2009 en Barcelona, con capacidad para proveer hasta el 20% del agua para consumo humano de la ciudad. El director de la asociación de negocios para el tratamiento del agua de España piensa que las compañías españolas han capitalizado su éxito dentro de España debido al hecho de que 7/20 de las compañías más activas en desalación en el mundo son españolas (MIT Technology Review, 2013). Antes del desarrollo de proyectos de desalación en España, en el año 2001 el partido gobernante en ese momento aprobó un plan nacional para transferir agua desde la cuenca del río Ebro en el noroeste de España al área en el sur del país que se encontraba necesitada de agua. Se estimó un costo para el proyecto de €6 mil millones para transferir más de $1000 \times 10^6 \text{ m}^3$ de agua al año (Tortajada, 2006). No obstante, tras la elección de un nuevo gobierno, el proyecto se desechó en favor de “soluciones localizadas”, tales como proyectos de desalación más pequeños y estrategias de demanda de gestión (H. March, 2014).

Australia también ha aumentado su suministro de agua desalada. Destacan Perth y Adelaide, donde hasta la mitad de todos los requerimientos de agua potable fueron cubiertos en el 2012 con este recurso a medida que las plantas de desalación alcanzaron su máxima capacidad (Palmer, 2012). Se estableció un National Centre of Excellence in Desalination en Australia en el 2009, con importantes inversiones originadas en el Gobierno de

Australia (Australian Government, 2012). El objetivo principal del centro es apoyar el desarrollo y la comercialización de tecnologías innovadoras en desalación, a fin de mejorar la eficiencia del agua y la energía.

5.5.2 Reutilización de aguas residuales

A pesar de que la reutilización de las aguas residuales tratadas no se incluyó específicamente en el estudio previo de la Universidad de Chile, no cabe duda de que representa una de las principales prioridades en la agenda internacional para la gestión de recursos hídricos. Es por esta razón que se han utilizado varios ejemplos dentro de esta sección a fin de demostrar su importancia para nuestros estudios de casos internacionales.

De acuerdo con el National Water Efficiency Report (2011), realizado en Israel, las aguas efluentes cubren cerca del 38% de los requerimientos de riego del país, lo que se estima vital para su campaña para el uso sostenible del agua. Actualmente, el proceso de tratamiento y reutilización de aguas residuales de uso doméstico en Israel implica la combinación de aguas residuales utilizadas en inodoros y en otros sectores de los hogares antes de que se envíen a una planta de tratamiento. Los estándares estrictos, que incluyen 37 mediciones de parámetros, están involucrados en el proceso de tratamiento, que trata un 95% del agua para uso doméstico, a fin de asegurar que es adecuada para su reutilización, la mayoría de esta agua (84%) se destina al sector agrícola, mientras que el resto del agua tratada se pierde por evaporación o se transporta al mar, debido a la falta de tuberías necesarias en las áreas agrícolas remotas.

El mayor impulsor en el desarrollo de la reutilización de aguas residuales tratadas en España es su uso para propósitos agrícolas. No obstante, los temas ambientales están tomando cada vez más importancia, lo que resulta aparente en la tendencia hacia el uso para propósitos medioambientales, tal como la recarga de aguas subterráneas, y en especial para combatir la intrusión del agua salada (Raso, 2013). Debido a la capacidad para el tratamiento a nivel terciario de aguas residuales en las municipalidades, el país ha promovido la reutilización para el riego de campos de golf y jardines, la restauración de humedales, limpieza de calles y combate de incendios (M. Kellis, 2012).

En Western Australia (WA), actualmente solo una parte de las aguas residuales que se envían a las plantas de tratamiento se recicla. No obstante, ambiciosos objetivos fijados por quien abastece el agua y las aguas residuales en la región, Water Corporation (2015), apuntan a alcanzar un 30% de reciclaje de aguas residuales en sus dos ciudades más grandes, Perth y Mandurah, antes del 2030. Asimismo, se ha fijado un objetivo a largo plazo del 60% de agua reciclada para antes del 2060, con el que además se insiste en que un componente vital de la eficiencia en la gestión de recursos hídricos se obtiene mediante un aumento en la cantidad de agua reciclada (Water Resorces Group, 2012). La Water Corporation ha descrito los usos actuales y propuestos del agua reciclada;

- Aumento de transporte del agua reciclada a industrias existentes y nuevas. Actualmente, una parte del agua reciclada de WA es utilizada por la industria minera.
- La recarga de agua subterránea para asegurar el futuro abastecimiento de agua.
- Disposiciones para favorecer el medioambiente natural.
- Utilización para espacios abiertos públicos y tierras cultivadas.
- Reutilización para propósitos residenciales, tales como estanques de baño y jardinería.
- Remplazo del 10% del consumo de agua dulce en las plantas más grandes de tratamiento de agua.

En Brisbane, Australia, el Proyecto Western Corridor Recycled Water es uno de los mayores de su clase en el mundo. El agua de efluentes se recolecta desde plantas de tratamiento avanzadas, en un proceso que implica micro filtración, osmosis reversa, oxidación avanzada y desinfección residual. Actualmente, la capacidad de tratamiento instalada es de 182×10^6 l/día, con un potencial para aumentarla a 310×10^6 l/día. Asimismo, se construyeron 190km de tuberías de gran diámetro para el proyecto, junto a numerosas estaciones de bombeo. Esta agua reciclada se utiliza principalmente en centrales eléctricas y aplicaciones industriales, aunque toda

agua remanente se devuelve al almacenaje principal para suministro de agua para consumo humano. Solo una vez que el nivel de agua potable almacenada baja del 40%, se puede recurrir al agua reciclada para usos potables indirectos. (N. Apostolidis, 2011). La *Figura 5-1* muestra el extenso proceso de reciclaje antes de que el agua de efluentes pueda reutilizarse.

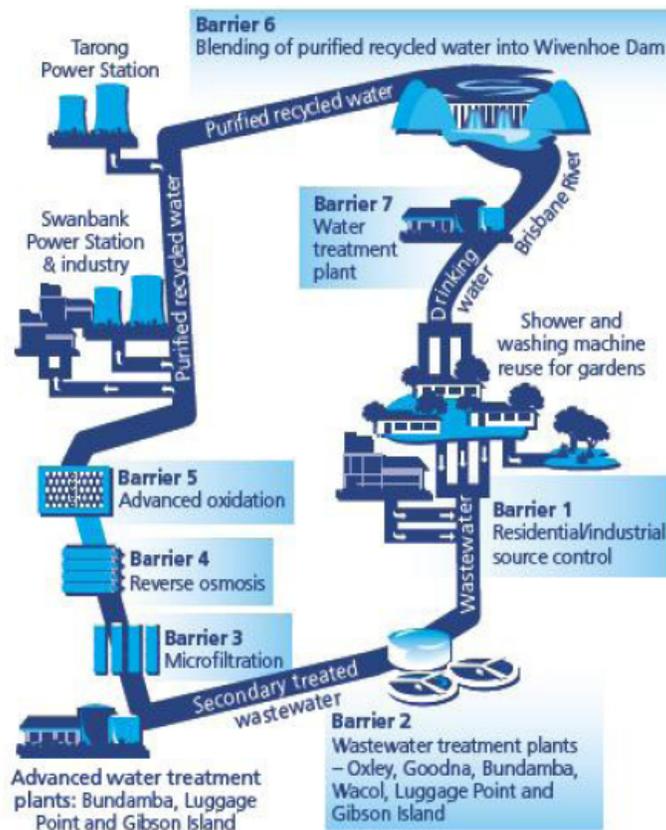


Figura 5-1: Proceso de reciclaje de agua de efluente en el Proyecto Western Corridor Recycled Water (N. Apostolidis, 2011)

Como resultado de la mayor priorización de temas medioambientales en el mundo, especialmente en términos de gestión de recursos hídricos, los países están mirando hacia la reutilización de lodos de aguas residuales, subproducto de las aguas residuales tratadas. Se dice que la región de New South Wales en Australia lidera el camino en términos de reutilización de lodos. Hasta 1990, más del 60% del lodo generado se arrojaba al mar; no obstante, solo tres años después cerca del 70% se estaba reciclando. De hecho, se ha registrado una mayor demanda de lodos de las aguas residuales por parte de las compañías de fertilizante en Australia, debido a la baja disponibilidad de acondicionadores orgánicos para suelo (S. Vigneswaran, 2004). Actualmente, España es uno de los países líderes en Europa en cuanto al reciclaje de lodos de aguas residuales, con más del 75% reutilizado para propósitos agrícolas (Eurostat, 2012). Se indica que los efectos ambientales adversos derivados de la adopción de lodos para uso agrícola se ha reducido a un mínimo mediante la implementación de regulaciones y estándares estrictos (S. Vigneswaran, 2004).

5.5.3 Métodos para reducir las pérdidas en redes

En Israel, la reducción de pérdidas dentro de la red hídrica se está transformando en una prioridad aún mayor, a medida que buscan continuamente maneras de mejorar la eficiencia hídrica, cuyo beneficio puede verse en la cifra relativamente baja de agua no facturada que se muestra en la sección anterior. Se ha habilitado un sistema de monitoreo acabado para suministrar agua a cada industria dentro del Estado. Los volúmenes de

agua consumida se cuantifican mediante un sistema de medición por sector industrial, por lote en el sector agrícola, y por cada hogar en el sector doméstico, lo que permite comparar el agua suministrada versus el agua que llega a cada sector (Planning Department of the Israeli Water Authority, 2011). Una de las principales ventajas de este sistema es la posibilidad de realizar una estimación e identificación de pérdidas de agua, que podrían darse debido a la ocurrencia de robos, filtraciones o medidores defectuosos. A pesar de la existencia de un sistema de monitoreo que ya es riguroso destinado a mejorar la eficiencia de la gestión hídrica, se tomó la decisión de reemplazar todos los sistemas de medición manual existentes en el país y dentro de cada sector con un sistema de Lectura de Medidor Automatizada (AMR, por su sigla en inglés) operado en forma remota (Water Authority Planning Department, 2010).

A pesar de que las pérdidas de agua en Israel son relativamente bajas en comparación con otros países, se han habilitado políticas adicionales a fin de que coincidan con el uso de medidores de agua obligatorios. Estas políticas incluyen el pago obligatorio de la pérdida de agua superior al nivel “aceptable” de un 8% y la autorización para reducir la presión del agua a 3 atmósferas (requerimiento mínimo para el servicio de combate de incendios) (Planning Department of the Israeli Water Authority, 2011).

Una iniciativa destinada a agregar presión local y gestión de filtraciones en South-East Queensland comenzó en el 2003. Los ahorros totales de agua en la región alcanzaron 60×10^6 l/día. Solo en el área de Gold Coast, el gobierno australiano ha invertido más de Aus\$3 millones en contribuciones para el proyecto y se ha logrado una reducción en la filtración de agua de un 5,75%, alcanzando una filtración del 7,35% sobre el total. El proyecto consistió en la instalación de un extenso sistema de medición, además de instalar válvulas para reducir la presión del suministro existente. Este proyecto demuestra los beneficios de la gestión de la presión como solución para mejorar la eficiencia del agua en la red de distribución y reducir los costos de mantenimiento. Asimismo, también se ha hecho aparente una reducción en las averías de las matrices (Department of Environment, Water, Heritage and the Arts, 2009).

Se ha implementado un proyecto en Sudáfrica para reducir las pérdidas de agua en dos áreas residenciales de ingresos bajos a medios, mediante la aplicación de innovadora tecnología de gestión de presión, como parte de una sociedad público privada. El objetivo del proyecto era reducir las pérdidas y los requerimientos de energía en el sistema de distribución de agua mediante la mejora en el control de la presión. Un análisis preliminar descubrió una presión excesivamente alta en la red en relación con la demanda, especialmente durante los periodos de demanda más baja, lo que se identificó como causante de considerable daño a las redes de tuberías. Como resultado, se identificó una alta proporción de filtraciones además del mayor costo debido a los requerimientos de reparación. En el 2005, se construyó una estación avanzada para la reducción de presión, una de las más grandes de su tipo en el mundo. El capital inicial y los costos operacionales generales alcanzaron los \$800.000 USD y \$700.000 USD, respectivamente, durante un periodo de 5 años, cuando la inversión de capital inicial se pagó en su totalidad tras solo dos meses. Los ahorros monetarios totales logrados durante los cinco años de vigencia del proyecto fueron de \$20 millones USD, mientras que los ahorros estimados para el periodo que va más allá del contrato son de \$3,8 millones USD por año para los siguientes 15 años. Esto se traduce en una reducción en el flujo desde los 2.500 m³/h a 1.800 m³/h y una disminución en la cantidad de agua suministrada de un 25%. El costo-efectividad de la medida ha sido derivado como el costo marginal estimado del proyecto de \$0,08 USD por m³. Asimismo, se ha ahorrado una cantidad considerable de energía en la forma de más de 14 millones de kWh por año (Water Resorces Group, 2012).

5.6 I + D + i

El sector sanitario es un consumidor de agua de vital importancia debido al derecho humano relacionado con el acceso a una fuente de agua limpia y segura. Las mejoras en este sector mediante los desarrollos tecnológicos y las inversiones tienen el potencial no solo de reducir la presión sobre el entorno natural, sino que además entregan un suministro más equitativo de agua para los hogares. Los casos de estudio internacionales que se

presentan a continuación, demuestran un progreso continuo positivo en la industria y muestran el potencial para la competitividad dentro del sector.

La exportación de tecnologías hídras se ha duplicado en Israel, de acuerdo con funcionarios en el Israel Export and International Cooperation Institute. Las cifras sugieren que unas 200 compañías israelíes exportaron el equivalente a \$1,4 mil millones USD en tecnologías para la gestión, desalación, reciclaje y purificación de agua, así como para riego y seguridad a más de 100 países durante el año 2008 (Israel National News, 2009).

Completada en el 2013, la nueva adición de Israel a su industria de desalación tiene el récord como la planta desalinizadora más grande del mundo, con una producción de 627.000 m³ de agua diaria. Las críticas más frecuentes a esta tecnología se relacionan con su alto costo y consumo de energía. No obstante, esta planta en particular ha demostrado que puede proveer el agua desalada más económica en el mundo, que se vende a la Israeli Water Authority a solo 58 centavos de dólar por m³. Asimismo, debido a las mejoras de la ingeniería en la industria, la planta consume menos energía que otras plantas de desalación a gran escala en el mundo (Talbot, 2015).

El éxito alcanzado por España en cuanto a tecnologías de desalación ha gatillado la exportación de su industria, en la forma de la construcción y operación de algunas de las mayores plantas del mundo por parte de compañías españolas. Esto ha incluido varias plantas de desalación en Australia, la primera planta construida y operada por extranjeros en China, y una sociedad con Israel para la construcción de una de las plantas más grandes del mundo, la que se espera provea el 15% de los requerimientos hídricos de Israel. Además de las grandes plantas de desalación de España, existen cientos de operaciones de pequeña escala a lo largo de la costa, las que ofrecen laboratorios ideales para las compañías que desean probar nuevas tecnologías o tratamientos. Una de las grandes compañías de tratamiento de agua de España es Acciona Agua, que actualmente realiza investigación relacionada con desalación a grandes profundidades, de la que se piensa traerá posibles mejoras en la eficiencia energética. Asimismo, también están investigando si sus turbinas para operaciones fuera de la costa, las que se encuentran en desarrollo, podrían generar electricidad para el sistema (MIT Technology Review, 2013).

La investigación realizada por Australia en cuanto a tecnologías de desalación se coordina y lidera mediante el National Centre of Excellence in Desalination (NCED). Éste está generando capacidades nacionales en la industria con el objetivo de entregar mejoras significativas a escala comercial. A lo largo de 5 años, el gobierno australiano invirtió AUS\$23 millones en el centro, como parte de su iniciativa *Water for the Future*, la que se ha propuesto para entregar beneficios económicos valiosos para ayudar a Australia para que se proteja de la sequía. Este financiamiento inicial se ha traducido en \$81 millones en actividad de investigación en términos de 50 proyectos, más de 40 PhD y becas honorarias, desarrollo de laboratorio, instalaciones de educación y pruebas a nivel piloto. En total, más de 400 investigadores nacionales e internacionales de las organizaciones que están involucradas han participado en los proyectos de investigación. (National Centre of Excellence in Desalination, 2012); (Australian Trade Commission, 2013).

Los objetivos estratégicos del Centro derivan de las metas definidas por el Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts del gobierno australiano. Los objetivos se describen a continuación (National Centre of Excellence in Desalination, 2012):

- Liderar la investigación en tecnologías de desalación que hagan un uso eficiente de la energía.
- Facilitar instalaciones a los investigadores y la industria para apoyar el desarrollo de nuevas tecnologías de desalación.
- Comercializar las nuevas tecnologías de desalación resultantes.
- Generar capacidad nacional y capacidades para la investigación y la industria de la desalación.
- Promover una mayor aceptación pública de fuentes de agua alternativas.
- Transformarse en un centro de investigación sostenible mediante la comercialización y creación de alianzas con la industria.

En términos de infraestructura del Centro, una instalación piloto para pruebas de desalación de clase mundial permite a los investigadores y la industria someter a prueba tecnologías y procesos novedosos y mejorados que permiten validar la comercialidad del producto. Estas instalaciones para pruebas comerciales e investigación no solo están disponibles para la industria de la desalación, sino que también para las empresas de servicios básicos de suministro de agua, consultores de ingeniería y el gobierno (National Centre of Excellence in Desalination, 2014).

El consumo de aguas residuales recicladas está aumentando en numerosas regiones de España, como ya se mencionara. Este aumento ha llevado a un creciente interés comercial en el sector dentro de España, y ha derivado a incentivar a algunas compañías privadas a invertir en investigación y desarrollo (Raso, 2013). A fin de apoyar la implementación de la reutilización de aguas residuales, el gobierno español publicó un borrador del Plan Nacional para la Reutilización del Agua en el 2010, lo que incluyó entre sus objetivos principales un enfoque en la educación pública y la participación con la comunidad. Estos objetivos eran (Freedman & Enssle, 2015):

- Promoción del uso del agua recuperada;
- Informar y crear conciencia de los beneficios del agua reciclada. y
- La promoción de la investigación, el desarrollo y la innovación tecnológica.

Se realizó una encuesta a nivel nacional en España en el 2015 a fin de comprender las prioridades clave en términos de investigación, desarrollo e innovación (I + D + i) dentro de la industria hídrica. Cerca de 50 compañías y partes interesadas respondieron, y los resultados mostraron que después de la eficiencia con el agua y la energía en el sector, la depuración y reutilización del agua se consideraron como las segundas mayores prioridades en la industria en España. En comparación, la desalación se ubicó en el noveno lugar como prioridad de investigación, desarrollo e innovación de la industria. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

Se ha establecido el Australian Water Recycling Centre of Excellence, a fin de realizar investigación y lograr desarrollos dentro del sector, con los principales objetivos de ampliar el uso del agua reciclada y brindar soluciones para las barreras tecnológicas existentes (N. Apostolidis, 2011); (Australian Trade Commission, 2013). Mediante asociaciones de la industria, centros de investigación y el gobierno, la gestión y el uso del agua reciclada ha ido mejorando a nivel nacional e internacional. Asimismo, el Centro trabaja para generar comprensión y conciencia de la industria en la comunidad (Australian Water Recycling Centre of Excellence, 2013). Esto se ha logrado a través de la implementación del programa *National Demonstration, Education and Engagement*, cuyo objetivo principal es “ayudar a remover las barreras sociales, políticas, económicas y regulatorias que impiden aumentar el suministro de agua para consumo humano en Australia usando agua reciclada”. En el 2014 el programa recibió el premio WaterReuse International por sus esfuerzos, los que incluyeron el apoyo a una extensa reforma relacionada con la educación para el agua incluida en los programas de las escuelas de toda Australia (Freedman & Enssle, 2015).

Se realizaron encuestas a la comunidad en varios estados dentro de Australia durante los años 90's a fin de evaluar el nivel de aceptación pública para la reutilización de aguas residuales (S. Vigneswaran, 2004). Los resultados sugirieron que, en términos generales, el público no se mostró adverso a su uso dentro de la comunidad. No obstante, los potenciales riesgos para la salud asociados con el uso de agua reciclada siguen preocupando al público.

5.7 Discusión y recomendaciones

La meta de uso de agua establecida para el sector sanitario reduce el Agua No Facturada de 289,4 l/s (34%) a 255,3 l/s (30%) en 3-4 años. A la luz de las recomendaciones de la American Water Works Association y las cifras revisadas en los casos internacionales esta meta es insuficiente, o relativamente baja y se recomienda considerarla como una primera fase de corto plazo, en el marco de un objetivo de mediano plazo más

ambicioso. Se recomienda fijarse objetivos en términos relativos, ya que el valor absoluto es función de la demanda total, que está sujeta a la evolución de la población total.

A partir del Informe Final – Etapa II (Universidad de Chile, 2016) se identifican cuatro brechas principales que dicen relación con sistemas de monitoreo e infraestructura para reducir las pérdidas de la red. Sin embargo, en el Informe de Avance – Etapa III (Universidad de Chile, 2016) todas estas brechas (tecnológicas) son catalogadas de prioridad media o incluso baja, mientras que se prioriza la desalación y el monitoreo en tiempo real de la calidad del agua. Se debe tener en cuenta que la desalación es una alternativa para desarrollar nuevas fuentes de agua y no corresponde a una acción para hacer un uso más eficiente del agua generada a partir de las fuentes existentes. De forma similar, el monitoreo en tiempo real de la calidad del agua tampoco impacta de forma directa el uso eficiente del agua. Tal como ya se discute en el informe (Universidad de Chile, 2016) también, la desalación impactaría negativamente en un mayor costo, que a su vez fue identificado como un driver de alta importancia para el sector sanitario.

En los casos internacionales analizados se ha documentado la desalación como nueva fuente de agua potable, implementada bajo diversas condiciones particulares de cada región. Sin embargo, se debe tener en cuenta que en la mayoría de ellos también se han documentado esfuerzos previos y paralelos en reducir el porcentaje de *agua no facturada*, específicamente las pérdidas físicas por filtraciones de la red. La actual proporción de *agua no facturada* en la Región de Atacama sugiere un elevado potencial de reducir la demanda global de recursos hídricos (por reducción de pérdidas físicas) y recursos energéticos (por disminución de bombeo). En este sentido se sugiere analizar la priorización de las actividades incluyendo una evaluación de la costo-efectividad de las diferentes soluciones posibles. Aunque cada caso tiene sus particularidades, el caso de monitoreo y gestión de presiones documentado en Sudáfrica es un buen ejemplo de medidas costo-eficientes. Desde el punto de vista del desarrollo del uso eficiente del agua (y la energía) es un contrasentido inyectar a una red de agua potable que presenta un alto porcentaje de pérdidas físicas, un agua desalada producida a un alto coste económico.

En los casos internacionales analizados, también se han documentado ejemplos de desarrollo del uso de fuentes de agua alternativas, específicamente el uso de agua reciclada o tratada, para usos tales como riego de parques y jardines, limpieza de infraestructura urbana, demanda de agua industrial y/u otras demandas específicas, que en su conjunto permiten reducir la demanda por agua de calidad potable, haciendo un uso más eficiente del recurso. Esta alternativa sin embargo, requiere un tratamiento avanzado de las aguas servidas y una red de distribución propia, lo cual implica elevados costes de inversión.

El suministro de agua potable en la Región de Atacama ha presentado deficiencias en los últimos años. Una razón del deficiente servicio prestado tiene que ver con el rápido deterioro de las fuentes de agua de la empresa sanitaria concesionaria y las diferentes cooperativas de agua potable rural. En el sector donde se ubican los pozos de producción de la empresa sanitaria, así como los pozos de numerosos casos de APR, el acuífero sufrió un continuo descenso de los niveles y, consecuentemente, de la calidad del agua. Ello derivó en la necesidad de profundizar los pozos con el consecuente aumento de los costos de infraestructura y operación y el deterioro de la calidad del agua. En definitiva, esta situación es producto de una excesiva explotación de los acuíferos por la falta de una gestión sustentable de los recursos hídricos. Esta situación es agravada por la ausencia de políticas enfocadas en la protección de la cantidad y calidad de los recursos hídricos previstos para el suministro de agua potable de la población.

6 Sector Comunidades

6.1 Antecedentes generales

De acuerdo con el Gobierno Regional de Atacama, la población de la región alcanza aproximadamente 254.000 personas. La mayor parte de la población en esta región, el 91,5%, vive en áreas urbanas con una densidad de población general de 3,4 hab/km² (Gobierno Regional de Atacama, 2016). Entre las tres provincias en la Región, Chañaral, Copiapó y Huasco, la mayor parte de la población viven en la provincia de Copiapó (más que 60%). De acuerdo a los últimos censos en 1992 y 2002 la población de la región aumentó en 10,2% en este periodo, que es ligeramente por debajo de la media nacional (Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo, 2002).

6.2 Casos internacionales a ser analizados y comparados

Los casos internacionales que han sido elegidos para su análisis y comparación con el sector doméstico en la Región de Atacama, Chile, son: Israel, España y Australia. Estos países fueron elegidos, en forma similar a lo realizado con el sector sanitario, debido a su considerable avance en la mejora de la gestión hídrica en años recientes y que, por ende, representan los mejores casos para su comparación dentro de estas áreas. Asimismo, los climas de los países seleccionados son en cierta medida comparables con el de la Región de Atacama y, por ende, es posible que los casos de estudio hayan enfrentado desafíos similares a los que actualmente vive la región. En el caso del sector doméstico es importante comprender los aspectos demográficos de cada país a fin de asegurar que se puede hacer una comparación razonable. A continuación, un breve resumen de cada país en relación con el sector doméstico.

6.2.1 Israel

Si bien Israel tiene una población un poco superior a los 8 millones de personas, su densidad poblacional de 380 hab/km² es relativamente alta en comparación con los otros casos de estudio. Asimismo, el porcentaje de la población que vive en un área urbana es del 92% (Banco Mundial, 2016). Mientras que se ha logrado un considerable avance en el sector de Agricultura y Sanitario en Israel, con respecto a la gestión y eficiencia del agua, el país ha reconocido la necesidad de realizar una mayor inversión y mejorar en el sector hídrico doméstico. La reciente priorización dentro de esta área puede verse en los ejemplos provistos en las siguientes secciones.

6.2.2 España

La población de España ha alcanzado aproximadamente los 46,5 millones de personas, con una densidad de 93 hab/km². La población urbana del país alcanza un 79% de las personas (Banco Mundial, 2016). España cuenta con un consumo de agua doméstico bajo comparado con otros países desarrollados, en especial cuando se consideran las condiciones climáticas de una gran parte del país.

6.2.3 Australia

La población de Australia ha aumentado considerablemente durante las últimas décadas y ahora se acerca a los 23,5 millones. No obstante, su densidad es extremadamente escasa, con tan solo 3 hab/km², debido a la enormidad del país. Lo que es más, aproximadamente un 89% de la población vive en áreas urbanas (Banco Mundial, 2016). El consumo doméstico de agua en Australia es uno de los más altos en el mundo desarrollado,

no obstante, se ha conseguido un avance reciente en la forma de programas de concientización pública, avances en el sector hídrico urbano y las reformas en las políticas.

6.2.4 Resumen

Mientras que la Región de Atacama cuenta con una escala mucho menor que la de los ejemplos internacionales, se pueden apreciar similitudes en la proporción de población urbana y de densidades de población. Es importante no olvidar estas cifras cuando se saquen conclusiones y se entreguen recomendaciones a partir de los casos de estudio internacionales ubicados más abajo en el informe a fin de asegurar que sean razonables y realistas.

6.3 Resumen de lo contenido en los informes de la Universidad de Chile

En el Informe Final Etapa II: Identificación de Oportunidades y Levantamiento de Brechas (U de Chile, 2016) se han descrito y cuantificado las brechas competitivas y de componente tecnológica en base a i.) la opinión de expertos, ii.) reuniones técnicas con profesionales, y iii.) la revisión de información secundaria. Posteriormente se han propuesto indicadores para medir el avance desde la situación inicial a una situación esperada definida.

Posteriormente en el Informe Etapa III: Diseño de Hoja de Ruta (U de Chile, 2016) se priorizan las brechas, se identifican las acciones para cerrar las brechas, se establece un programa, y se proponen los Comités Gestores y los indicadores para realizar el seguimiento.

Este análisis se ha realizado para la Región de Atacama individualizando sectores económicos (minero, agrícola, sanitario, intra-domiciliario y transversal) y a su vez cuencas (Río Salado, Río Copiapó y Río Huasco).

La situación actual y la Meta a 3-4 años establecida para la Región de Atacama se presentan en la *Tabla 6-1*.

Tabla 6-1: Meta establecida para consumo domiciliario en Región de Atacama (fuente: modificado de U de Chile, 2016)

	Situación Actual	Situación Esperable*
Consumo Domiciliario	131,8 l/pers/día**	91,8 l/pers/día**

* Situación esperable en un plazo de 3-4 años

** Aunque en el documento de la Universidad de Chile (2016) indica unidades de l/s, los autores suponen que se debe a un error de unidades ya que el valor de 131,8 coincide con el valor de la Superintendencia de Servicios Sanitarios para el 2013 (ver más adelante), y además para una población de 254.000 personas en la Región de Atacama este caudal correspondería a 45 l/pers/día, valor muy por debajo de los valores medios de Chile y los países OCDE.

Respecto de la componente de infraestructura tecnológica se identifican las siguientes brechas y su priorización:

- Prioridad Alta:
 - o Mejor utilización del agua domiciliaria
 - o Tecnologías de reutilización de aguas grises
 - o Tecnologías de circulación de aguas
- Prioridad Baja
 - o Tecnologías para reducción de sólidos

Sin embargo, de acuerdo con los contenidos del Informe Preliminar “Diseño de la Hoja de Ruta”, la propuesta de CSIRO y el análisis desarrollado durante el proyecto, las brechas que son analizadas son las siguientes:

- Tecnologías de reutilización de aguas grises
- Mejor utilización del agua domiciliaria

6.4 Comparación de consumos

A fin de realizar una comparación efectiva de la situación de la Región de Atacama, se han buscado las cifras de consumo de agua para cada caso internacional. Esto también permitirá interpretar si los objetivos deseables para consumo fijados por la Universidad de Chile son razonables.

6.4.1 Región de Atacama

Si bien se ha incluido una cifra para consumo doméstico en el informe realizado por la Universidad de Chile, el estándar internacional prefiere usar litros/persona/día, y por ende se han obtenido dichas cifras tanto para la Región de Atacama como para el promedio chileno (*Tabla 6-2*) a fin de permitir una mejor comparación.

Tabla 6-2: Consumo doméstico de agua potable en la Región de Atacama para el 2013 y el 2014 (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2014)

[l/pers/día]	2013	2014
Región de Atacama	131,8	130,4
Promedio chileno	139	138

Se puede deducir que el consumo doméstico en la Región de Atacama es levemente inferior al del consumo chileno promedio.

6.4.2 Israel

Como parte de los objetivos hídricos nacionales de Israel, se produjo un cronograma, resumido en la *Tabla 6-3*, a fin de mantener y reducir el consumo de agua doméstico promedio en el Estado.

Tabla 6-3: Consumo doméstico promedio de agua potable en Israel, incluyendo consumo proyectado (Planning Department of the Israeli Water Authority, 2011)

Israel	2010	2015	2025	2050
[l/pers/día]	246,6	271,2	268,5	260,3

6.4.3 España

El consumo de agua doméstico varía entre las regiones de España, desde los 160 l/pers/día en Valencia a 118 l/pers/día en Ceuta y Melilla. El consumo promedio per cápita para el 2012 se estimó en 137 l/pers/día (*Tabla 6-4*).

Tabla 6-4: Consumo doméstico promedio de agua potable en España, 2012 (Instituto de Nacional Estadística, 2012)

España	2012
[l/pers/día]	137

6.4.4 Australia

En Australia, el consumo de agua doméstico varía enormemente entre cada estado, desde los 416,4 l/pers/día en Northern Territory (NT) a 172,6 l/pers/día en Victoria. El consumo promedio per cápita para los años 2010 y 2013 se muestra en la *Tabla 6-5*.

Tabla 6-5: Consumo doméstico promedio de agua potable en Australia, 2010 y 2013 (Australian Bureau of Statistics, 2016)

Australia	2010	2013
[l/pers/día]	208.2	219.2

6.4.5 Resumen

Un resumen tanto del consumo de agua doméstico internacional y de la Región de Atacama se muestra en la *Tabla 6-6*.

Tabla 6-6: Comparación del consumo doméstico promedio de agua potable entre los casos de estudio internacionales y la Región de Atacama, Chile

	Atacama (2014)	Israel (2015)	España (2013)	Australia (2013)
[l/pers/día]	130,4	271,2	137	219,2

Es posible apreciar que la Región de Atacama consume la menor cantidad de agua en el sector doméstico per cápita, y tiene una tasa similar a la de España, mientras que Australia e Israel consumen considerablemente más agua per cápita.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda entre 50 a 100 litros de agua por persona por día a fin de asegurar que se cubran los requerimientos humanos más básicos y para reducir los problemas de salud (Naciones Unidas, 2016)

6.5 Comparación de brechas

La siguiente sección describirá varios casos internacionales que demuestran una gestión hídrica eficiente en relación con las brechas identificadas en el sector doméstico. Como se describiera anteriormente, estos casos de estudio en particular fueron elegidos debido a su avance positivo dentro de este sector y por ende representan ejemplos válidos contra los cuales se pueden hacer comparaciones.

6.5.1 Tecnologías de reutilización de aguas grises

De acuerdo con numerosas fuentes, las aguas grises representan entre un 50% y un 70% de toda el agua que emana de cada casa (C. Gerba, 1995). La implementación de sistemas para reuso de aguas grises varía enormemente en el mundo; no obstante, las barreras que existen para fomentar su uso masivo en el sector doméstico son generalmente de origen político. La falta de claridad en las pautas y la regulación respecto de su instalación y operación parece evitar que estos esquemas se masifiquen, debido principalmente a las posibles implicaciones para la salud pública asociadas a la reutilización de las aguas grises.

Si bien en Israel se ha permitido el uso de aguas grises en edificios e instalaciones industriales, sujeto a la aprobación del Ministerio de Salud, su uso en hogares privados o edificio de departamentos ha sido prohibido, lo que se debe a preocupaciones relacionadas con instalaciones realizadas por personal no profesional lo que,

por ende, resultará en un mayor riesgo para la salud si el agua no es tratada según estándares nacionales (Ministry of Health, 2016).

Australia es ampliamente considerada líder en términos de políticas relacionadas con el uso de aguas grises, con requerimientos y regulaciones específicas que varían en cada estado. En Tasmania, por ejemplo, es obligatorio tratar todas las aguas grises antes de su reutilización, mientras que en New South Wales (NSW), se permite el uso de aguas grises no tratadas para riego en sub-superficies. Adicionalmente, los códigos de planificación para algunos estados de Australia y varios países del mundo prohíben el almacenamiento de aguas grises, lo que significa que se han creado sistemas para la reutilización inmediata del agua, en vez de para su tratamiento y almacenamiento (L. Allen, 2010). Dichos sistemas usan aguas grises en retretes, riego exterior y rehabilitación de humedales. A menudo, se incluye un simple proceso de filtración durante el redireccionamiento del agua a fin de capturar sólidos no disueltos tales como cabellos, grasa y pelusas. Asimismo, en ocasiones se utiliza desinfección para eliminar bacterias, tales como tabletas de cloro en los tanques de los retretes. Existe una variedad de sistemas comercialmente disponibles para aguas grises que desvían el agua de la ducha y el lavamanos a los retretes, los que se venden principalmente en Australia, Japón, Europa y Norteamérica, a un costo de entre \$100 y \$500 USD (L. Allen, 2010).

Australia también ha desarrollado pautas nacionales para el reciclaje con fines de reutilización de aguas grises: *"Australian Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks"*. En forma paralela a las tecnologías que reciclan agua, el gobierno desarrolló varios programas destinados a fomentar su uso en los hogares, lo que incluye un subsidio de \$500 AUD para la instalación de sistemas para aguas grises (L. Allen, 2010). Si bien este incentivo en particular ya no está vigente, varios otros países en el mundo desarrollaron programas de incentivo similares, tales como E.E.U.U., Chipre y Corea del Sur (G. Oron, 2014).

La directiva del European Council respecto de la reutilización de las aguas grises es algo ambigua: *"el agua de desecho debe ser reutilizada cuando resulte apropiado"*, lo que ha llevado a diferentes interpretaciones dentro de la región. Alemania parece ir liderando el camino en términos de uso de aguas grises en Europa y requiere que todos los sistemas domésticos se registren con la Oficina de Salud (L. Allen, 2010). Varias municipalidades en España han aprobado regulaciones para promover la reutilización de las aguas grises en edificios de varios pisos (Doménech & Sauri, 2010). En Estados Unidos la regulación para las aguas grises es determinada por cada estado, 30 de los cuales tienen regulaciones de algún tipo en relación con su uso, si bien difieren enormemente entre sí (L. Allen, 2010).

6.5.2 Mejor utilización del agua domiciliaria

La mejora en la utilización del agua en el sector comunitario puede tomar la forma tanto de tecnologías para mejorar la eficiencia en el uso del agua como políticas de gestión de demanda destinadas a reducir el consumo de agua. Por ende, se ha incluido una combinación de ejemplos en esta sección para demostrar la importancia de ambos en los casos internacionales. De igual forma, en esta sección se incluye la brecha identificada por el informe como Tecnologías de circulación de aguas, ya que esta es una forma e mejor utilización del agua domiciliaria.

Si bien no se describen tecnologías específicas, el *Israel Water Sector Master Plan 2050* indicó que se invertirán 36 millones NIS (cerca de \$9,3 millones USD) antes del 2020 en accesorios destinados al ahorro de agua en los hogares. Se proyecta que esta inversión producirá ahorros de agua anuales de 5,6 millones m³/año (Water Authority Planning Department, 2010). En Australia, los dispositivos para el uso eficiente del agua se fomentan y a menudo son obligatorios tanto para los edificios nuevos como para los ya existentes (Joint Steering Committee for Water Sensitive Cities, 2009). Varios estados han desarrollado incentivos para promover el uso de dichas tecnologías en la forma de esquemas de descuentos. Las tecnologías cuyo uso se está masificando en partes de Australia incluyen llaves de agua, duchas, retretes y aspersores eficientes, así como temporizadores para uso del agua. Investigaciones recientes han mostrado que la implementación de retretes con descarga dual y los cabezales de ducha eficientes para el uso del agua puede producir una reducción del 15% al 20% en

el uso de agua en interiores y, por ende, una reducción en la subsecuente generación de aguas residuales que requerirían de tratamiento (Joint Steering Committee for Water Sensitive Cities, 2009).

En Israel, se han presentado numerosas políticas destinadas a reducir el mal uso del agua en el sector doméstico. En primer lugar, se factura a los usuarios de acuerdo a su volumen de consumo, lo que incluye un sistema de tarifas para el agua de dos niveles, con un precio mucho mayor para los grandes consumidores de agua una vez que se excede el umbral de los 2.5 m³ por mes. En segundo lugar, a fin de aumentar la concientización de las condiciones derivadas de la sequía presente en ese momento y para seguir promoviendo un menor uso del agua, se realizó una campaña multi-medios en el 2009. Como resultado, se atribuyó la reducción del 10% en el consumo de agua doméstica registrada ese año a esta campaña, la que se considera que excedió las expectativas. En general, se indica que la suma de las estrategias mencionadas anteriormente han reducido las tasas de consumo en un 15%, especialmente en las áreas donde se han instalado sistemas de lectura de medidores automatizados (AMR, por su sigla en inglés). Más recientemente, los cambios en las políticas se han enfocado en el consumo de agua municipal. Esto se debió principalmente a la preocupación generada por la percepción de que se estaban ocupando cantidades excesivas de agua para el riego de parques y jardines públicos (Planning Department of the Israeli Water Authority, 2011).

Se considera que los programas de educación para la comunidad realizados en toda Australia, como la campaña *Queensland Water Commission Target 140*, han contribuido a reducir el consumo de agua en el sector doméstico (Joint Steering Committee for Water Sensitive Cities, 2009). Mientras que el gobierno ha indicado que es poco probable que las campañas educativas por sí solas logren su objetivo de reducción en el uso del agua, se consideran como un aspecto muy importante de las soluciones propuestas. A fin de asegurar que la campaña mantenga su impacto y efectividad, se considera necesario actualizarla en forma constante (Joint Steering Committee for Water Sensitive Cities, 2009).

Dinamarca tiene una población cercana a los 5,5 millones de habitantes con un PIB per cápita cercano a los US\$34.500 (International Monetary Fund, 2008). El promedio de consumo per cápita a nivel doméstico fue de 131 l/h/d en el 2007. Todos los hogares cuentan con medidores y las pérdidas en el sistema de distribución y las filtraciones de las tuberías se excluyen de esta cifra. En respuesta a las presiones medioambientales y regulatorias, Copenhagen Water comenzó un completo programa de conservación de agua en 1989. Esto incluyó campañas de educación, servicios de consultoría, detección de filtraciones y reparaciones, así como los cambios en el precio del agua y la estructura de impuestos. En particular, se enfocó en el sector doméstico, el que representó más de dos tercios del uso del agua total. Como resultado, el consumo doméstico en el área suministrada por la compañía bajó de 168 l/pers/día en 1989 a 131 l/pers/día en 1998, es decir, una reducción del 22% en un periodo de diez años. La Danish Water and Waste Water Agency (DANVA) informa una baja en el consumo de los hogares entre 1997 y 2006 de un 12,6%, atribuido a tres factores principales (DANVA, 2007): i.) la instalación de dispositivos que ahorran agua (por ej.: duchas y retretes); ii.) medidores, y iii.) política de precios del agua (Aquaterra, 2008).

6.6 I + D + i

En forma similar a lo ocurrido en el sector sanitario, el sector doméstico es un componente fundamental para la industria hídrica, debido principalmente a que el agua potable limpia y la sanitación son esenciales para que se cumplan con todos los derechos humanos. Aunque una parte importante del mal uso o el uso ineficiente del agua dentro del sector doméstico proviene de percepciones culturales y una falta de concientización de la población, el desarrollo de tecnologías eficientes para el uso del agua y mejoras en el diseño urbano, tienen el potencial para reducir el consumo del agua en el sector junto con la mejora en la educación en temas hídricos y programas de concientización.

Se ha visto una tendencia creciente hacia la inversión en gestión de la demanda por agua en Israel, en vez de solo enfocarse en el aumento del suministro de agua. El Plan Maestro 2050 para el Sector Hídrico Nacional indica una inversión total de 1.167 millones NIS antes del 2020, en medidas tales como la educación, el

reciclaje de aguas grises y los ahorros en agua en los sectores de salud y turismo. Se proyecta que los varios programas descritos en el plan nacional de Israel ahorrarán unos 126 millones m³ de agua por año (Water Authority Planning Department, 2010).

La gestión de agua en zonas urbanas forma una parte considerable de la National Water Initiative (NWI) de Australia, creada con la intención de facilitar una gestión hídrica mejorada y eficiente en las áreas urbanas. La integración del diseño urbano en el ciclo hídrico se promueve mediante las pautas nacionales denominadas Water Sensitive Urban Design (WSUD) de Australia, las que apuntan a facilitar la gestión conjunta del suministro de agua, agua de lluvias, aguas residuales y aguas subterráneas, además de la protección ambiental dentro del entorno urbano (Joint Steering Committee for Water Sensitive Cities, 2009). La Australian Water Research and Development Coalition (AWRDC) está formada por nueve organizaciones clave dentro de este campo, con el objetivo de desarrollar conocimiento de R&D en el sector hídrico urbano. La coalición apunta a entregar la mejor R&D en relación con las prioridades del proyecto, a limitar la duplicación de la investigación y a traducir los resultados a la práctica de manera más efectiva. Se ha estimado que existe una inversión anual superior a los Aus\$50 millones en R&D en el sector hídrico urbano en Australia (Australian Water Research and Development Coalition, 2012). Un entorno de cooperación y colaboración para la investigación puede permitir que estas inversiones avancen aún más.

6.7 Discusión y recomendaciones

A la luz de la comparación de los consumos per cápita documentados en los casos internacionales el consumo en la Región de Atacama es relativamente bajo. Por ello la meta que se define para la Región de Atacama en un plazo de 3-4 años es considerada demasiado ambiciosa, tanto en valores absolutos (91,8 l/pers/día), como en términos relativos (reducción del 30%).

En la mayoría de los casos internacionales analizados las principales medidas para reducir el consumo corresponden a la implementación de i.) instrumentos de medición de consumo a nivel de hogar, ii.) políticas de precios, iii.) dispositivos de menor consumo, y iv.) campañas de concientización y educación acerca del uso y valor del agua. En general se observa que estas medidas son implementadas en forma complementaria.

Según los antecedentes recopilados en la Región de Atacama la mayoría de los hogares cuenta con medidores y se han realizado algunas campañas de ahorro; la actual política de precios no incorpora tramos de precios incrementales por volumen, pero el precio del servicio de agua potable y saneamiento es relativamente alto para estándares chilenos. Por lo tanto, se concluye que la implementación de dispositivos que reducen el consumo sería la medida que tendría mayor potencial de aumentar la eficiencia del uso del agua en el sector intra-domiciliario.

La implementación del re-uso de las aguas grises ha tenido evoluciones e impactos diversos según los casos internacionales analizados. Una de las principales barreras para la implementación de estas tecnologías es la preocupación de los legisladores por la salud pública. Esto conlleva a distintas restricciones acerca de i.) las instalaciones (hogares, edificios públicos, etc.) que se les permite implementarlos, ii.) los usos que se le pueden dar al agua, y iii.) los tratamientos y permisos gubernamentales que requieren. En todos los casos hay preocupación por la capacidad técnica de la mano de obra requerida para instalar y operar en forma segura la tecnología asociada al reuso de aguas grises.

Actualmente en el Congreso de Chile se encuentra un proyecto de ley para regular el re-uso de aguas grises en hogares e instituciones públicas. Esta ley plantea el re-uso una vez las aguas grises han sido depuradas con técnicas de baja complejidad. La implementación de estas tecnologías generará un mercado a empresas especializadas que requerirán de recursos humanos con la capacitación pertinente.

7 Discusión y Conclusiones

7.1 Benchmarking internacional

El foco principal del estudio coordinado por Corfo Atacama es proveer un “Programa Estratégico Regional de Especialización Inteligente Cuencas Sustentables” para la Región de Atacama. La visión de este programa es transformar la región en un ejemplo internacional de eficiencia hídrica, a través del desarrollo y transferencia de tecnología, avances en el capital humano y mejorando la gestión del recurso. El foco del presente estudio es proveer un análisis de las falencias o “brechas” identificadas para cada sector dentro del ámbito geográfico de la Región de Atacama, mediante un ejercicio de benchmarking. Siguiendo el estudio de la U. de Chile (2016), los sectores estudiados se clasificaron en transversal, agricultura, minería, sanitario y comunidades, y fueron analizados individualmente. Un resumen de los principales resultados se presenta a continuación.

7.1.1 Sector Transversal

En el estudio de la (Universidad de Chile; 2016) bajo Sector Transversal se entiende el ámbito que dice relación con la gestión de los recursos hídricos en el ciclo hidrológico natural. Las brechas tecnológicas priorizadas dicen relación con i.) el levantamiento de información acerca de las variables de estado del sistema (red hidrométrica), así como ii.) el desarrollo de modelos hidrológicos integrados basados en procesos que permiten reflejar el funcionamiento del sistema y realizar predicciones. A la luz de los casos internacionales revisados estas brechas están bien priorizadas y deben ser objeto de ingentes esfuerzos de mejora.

Los casos internacionales descritos en el presente estudio son un excelente ejemplo de la implementación de tecnologías y mejoras en la gestión de los recursos hídricos, en particular en relación con las brechas transversales que se identificaron en la Región de Atacama. Se han hecho patentes los avances significativos que han logrado los casos internacionales en esta materia en comparación con la Región de Atacama (y Chile en general). Una falencia básica en la Región de Atacama es la falta de información y conocimiento del sistema, ya que no se puede gestionar lo que no se conoce. Es esencial desarrollar la disponibilidad de información hidrométrica y modelos para simular los procesos del sistema para poder apoyar la toma de decisiones a través de la evaluación de la efectividad de las estrategias a implementar.

La información hidrométrica es esencial para el desarrollo y validación de los modelos hidrológicos y herramientas de apoyo a la toma de decisión en la gestión. La información hidrométrica debe incluir, además de las variables de estado del sistema, el conocimiento de los usos del agua. En este sentido se recomienda dar énfasis a la medición de los usos efectivos del agua y el manejo de la información acerca de la titularidad de derechos de aprovechamiento de aguas (DAA), que han sido definidos como de importancia media en el estudio de Universidad de Chile (2016).

A la luz de los casos internacionales analizados se observa que para una implementación efectiva de las medidas de gestión propuestas, es esencial que toda generación de información y desarrollo de herramientas de soporte a la toma de decisiones esté validada por las partes interesadas, en especial los usuarios. Tanto en Australia como en Europa se ha hecho énfasis en la participación de las partes interesadas en la generación y manejo de la información, así como en la validación de las herramientas de apoyo a la toma de decisiones.

7.1.2 Sector Agrícola

Los metas de consumo de agua definidas en el Informe (que se esperan alcanzar en 5-10 años) en los cultivos de uva de mesa, tomate y aceitunas son razonables a la vista de los casos internacionales. Sin embargo, es complejo refrendar estos objetivos dado que el consumo de cada cultivo es función de muchas variables relevantes, tales como la especie cultivada y las condiciones meteorológicas (patrón de precipitaciones, temperaturas, etc.) y geográficas (suelos, pendientes).

Las brechas tecnológicas identificadas para aumentar la eficiencia del uso del agua son adecuadas a la luz de la experiencia internacional: i.) el revestimiento de canales y ii.) la gestión de la distribución de agua para riego mediante sistemas de monitoreo y control remoto a nivel extrapredial, implementadas en paralelo a iii.) sistemas de riego eficiente, y iv.) riego controlado en función de la demanda localizada estimada por monitoreo de humedad de suelos a nivel intrapredial.

Como consecuencia de una comparación del consumo de agua de los cultivos más comunes en la Región de Atacama, se observa que en términos generales el desempeño de la región en términos de agua consumida por masa de cultivo producido es comparable. Sin embargo, existen oportunidades de mejoras que se pueden realizar mediante la implementación de tecnologías que se indican en el análisis. En los casos internacionales éstas no han sido útiles tan solo en la mejora de la eficiencia del recurso hídrico, sino que también han sido una oportunidad para los agricultores de mejorar sus conocimientos acerca del agua.

Algunas de las brechas identificadas por Universidad de Chile (2016) apuntan a la distribución extra-predial de agua y otras al consumo intra-predial. Para valorar la costo-efectividad de las medidas a aplicar sobre la eficiencia hídrica global del sector se debe tener en cuenta que en la Región de Atacama una fracción significativa del agua tiene su origen en fuentes de agua subterránea típicamente gestionadas a nivel intrapredial.

7.1.3 Sector minería

El análisis de la eficiencia del uso del agua en la minería se ha llevado a cabo para la minería de cobre, oro y hierro. Mientras que la minería de hierro y oro tienen un desempeño comparable a Australia en términos de consumo de agua, en la minería de cobre existen importantes oportunidades de mejora. Aunque en términos del uso eficiente del agua en la minería de cobre la Región de Atacama se encuentra significativamente por debajo de Australia, la Región de Atacama hace un buen uso de otras fuentes de agua, tales como agua de mar y/o agua recirculada. Un foco más amplio en el rango de tecnologías y prácticas de gestión a aplicar en la minería, tales como las que se discuten en el análisis de este estudio, permitiría a la Región de Atacama mejorar su eficiencia hídrica y migrar del paradigma de generar más recurso a partir del agua de mar. Además le permitiría identificar aquellas medidas que son más costo-efectivas.

Para el caso específico de la minería se ha realizado además un análisis de las barreras sociales y económicas que enfrenta la industria con el objetivo de entregar una visión de cómo romperlas. Una de estas barreras identificadas dice relación con la carencia de sistemas o instituciones que den soporte a la investigación y desarrollo de tecnologías, así como al desarrollo de capital humano avanzado. Australia es un buen ejemplo de este tipo de instituciones tales como el “Centre for Water in the Mining Industry” y “CSIRO”.

A partir del análisis de consumos y metas se ha hecho evidente que es complejo refrendar los objetivos dado que el uso de agua fresca es función de las condiciones meteorológicas, hidrogeológicas y de la mineralogía del yacimiento entre otros. Además, es difícil establecer con certeza qué variables son incluidas en los índices de cada país y publicación. Por ello cobran relevancia las iniciativas por estandarizar metodologías de contabilización de los usos del agua que se documentan en diferentes iniciativas de Australia.

7.1.4 Sector Sanitario

En términos del desarrollo del sector sanitario, la Región de Atacama se encuentra significativamente retrasada respecto de los ejemplos internacionales presentados. El principal indicador de esta situación corresponde al *agua no facturada* cuyo monto es muy superior a los casos de estudio. La Universidad de Chile (2016) define una meta de uso de agua para el sector sanitario que reduce el *agua no facturada* de 34% a 30%. A la luz de la información revisada en este estudio esta meta es baja en términos globales, aunque realista para el plazo estipulado de 3-4 años para alcanzarla.

Las brechas priorizadas por el Informe son i.) la desalación y ii.) el monitoreo de la calidad del agua en tiempo real. Estas brechas no dicen relación directa con la consecución del objetivo global del Programa que es la eficiencia hídrica. Es más, inyectar agua desalada producida a un alto costo a una red con un alto porcentaje de pérdida parece un contrasentido. Aunque en este estudio se documentan diversos casos de desalación para uso en el sector sanitario, en la mayoría de ellos esta acción va precedida de esfuerzos por reducir el *agua no facturada*, en específico las pérdidas de la red. Por esta razón en este estudio se llevó a cabo un análisis de los “métodos para reducir las pérdidas de redes”, a pesar de que no fue identificado como de prioridad alta. Aunque en los casos internacionales los índices de *agua no facturada* son significativamente menores, la reducción de pérdidas sigue siendo de alta prioridad en sus programas. En este sentido se recomienda revisar la priorización y estudiar la costo-eficiencia de cada medida identificada.

Otra conclusión sacada del análisis de casos internacionales tiene que ver con la importancia asignada al sector sanitario en particular. Mientras que el valor social de este sector ya le otorga una importancia preponderante por su relación con los derechos humanos a un acceso de agua seguro y de calidad, los casos internacionales además han ejemplificado los beneficios económicos que se derivan del desarrollo de este sector. Así, Israel ha demostrado los beneficios que ha cosechado a través de la exportación de sus tecnologías desarrolladas gracias a la inversión en programas de I+D.

7.1.5 Sector Comunidades

La Región de Atacama ha mostrado tener una de las menores tasas de consumo per cápita en comparación con los casos estudiados y los consumos internacionales en general. A la luz de esta comparación, la meta de eficiencia hídrica que se define para la Región de Atacama en un plazo de 3-4 años parece excesivamente ambiciosa, tanto en valores absolutos (91,8 l/pers/día), como en términos relativos (reducción del 30%).

A la luz de los casos internacionales se concluye que, aunque las diversas tecnologías pueden reducir el consumo de agua, para que estas medidas resulten efectivas deben ir acompañada de un cambio cultural de la valoración del recurso por parte de la sociedad, logrado a través de campañas de educación. En general se indica que la medición del consumo por hogar y la política de precios son las medidas más efectivas, así como la implementación de dispositivos eficientes o de mejor utilización del agua. Se observa que suelen aplicarse varias de estas medidas en conjunto. La implementación de la reutilización de aguas grises tiene un alto potencial de ahorro, pero los casos internacionales revisados revelan diversas barreras de implementación de índole político y técnico por asuntos de salud pública.

El análisis de los sectores sanitario y comunidades en forma individual resalta las restricciones que resultan de separar ambos sectores, que tienen importantes interdependencias. Aunque un análisis individual puede arrojar resultados interesantes, es probable que se pasen por alto aspectos claves si se compara con un enfoque integrado.

7.2 Una gestión integrada

7.2.1 Aplicación de los principios de GIRH

El presente estudio y los anteriores del “Programa Estratégico Regional de Especialización Inteligente Cuencas Sustentables” se han focalizado principalmente en cómo mejorar la eficiencia hídrica en la Región de Atacama para cada sector por separado, con un gran énfasis en los aspectos tecnológicos. Si bien concentrarse en mejorar la eficiencia hídrica es importante, corresponde a sólo un elemento dentro del portfolio de iniciativas tendientes a optimizar la gestión de los recursos hídricos. En efecto, en ausencia de medidas complementarias, iniciativas de este tipo no se traducen necesariamente en una mejora del medio hídrico y menos aún en una reducción en la escasez relativa del recurso, la que depende de las extracciones y de los vertidos.

Contrariamente a lo que sugiere la intuición, concentrarse sólo en aumentar la eficiencia hídrica puede generar

incentivos para que aumente la presión sobre el recurso tanto a nivel local como a nivel de la cuenca (Gómez, 2009)

De este modo, es poco probable que el apremiante problema de los acuíferos en la región, aprieto compartido con otras regiones del país, sea resuelto por medio de iniciativas de eficiencia hídrica individuales y analizadas de manera aislada. Al igual que en la necesidad de integrar los sectores sanitario y comunidad, una integración de todos los sectores a través de un análisis de toda la cuenca permitirá una mejor comprensión de cómo funciona ésta como un sistema y dará una idea de los conflictos intersectoriales. La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) es un método ampliamente aceptado a nivel internacional que tiene como objetivo atender la complicada naturaleza del agua. A pesar de que existen más de treinta definiciones de GIRH que compiten y se complementan entre sí, el concepto es generalmente promovido como proporcionando un enfoque que permite alcanzar un desarrollo de los limitados recursos hídricos de manera eficiente, equitativa y sustentable. Más específicamente, La Asociación Mundial del Agua, (2010) define GIRH como:

"Un proceso que promueve el manejo y el desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados con el fin de maximizar el bienestar económico y social resultante de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas".

Un enfoque holístico basado en la GIRH entiende la cuenca como un sistema compuesto por todas sus partes constituyentes, ya sean usuarios o la ecología, todos los cuales tienden a co-depender unos de otros en alguna forma. Por lo tanto, este enfoque permite la identificación de las interacciones entre las partes del sistema y analizar los efectos resultantes que tienen unos sobre otros.

Mientras que la GIRH ha sido muy alabada en los últimos tiempos, su aplicación en la práctica se ha enfrentado a obstáculos en diversas cuencas internacionales debido a la presencia de diversas presiones. Para permitir que el enfoque sea aplicado con éxito en Chile y en las cuencas de la Región de Atacama, es necesario que ocurran cambios en el marco institucional existente, lo que es explicado por el estudio "Diagnóstico de la Gestión de los Recursos hídricos " llevado a cabo por el Banco Mundial (2011). El enfoque también requiere la plena participación de los usuarios y grupos de interés dentro de la cuenca, que es probablemente uno de los principales retos que debE superarse para que sea aplicado de manera exitosa.

A la luz de las reflexiones anteriores, una de las inquietudes clave de este estudio es que el enfoque propuesto parece ser estrecho, focalizándose principalmente sólo en los objetivos a corto plazo que la región debe lograr. En efecto, una estrategia sostenible también debe incluir objetivos a mediano y largo plazo para la región y para cada cuenca hidrográfica. Esto tendrá que incluir, hasta cierto punto, la trayectoria futura deseada de la cuenca en términos de actividad económica, el desarrollo social y la sostenibilidad ambiental. Sólo a través de una planificación exhaustiva de escenarios probables, deseada e incluso extremas, se podrá reducir verdaderamente la vulnerabilidad de las cuencas.

7.2.2 Enfoque en la gestión de recursos hídricos por disponibilidad

El análisis de los casos internacionales indica que en general la gestión del recurso hídrico no se soluciona con aumentar la oferta de agua en las cuencas ni con aumentar la eficiencia hídrica, dado que no corresponden a soluciones integrales y reales a largo plazo. La experiencia internacional apunta a que la solución de largo plazo va de la mano de poner límites a las extracciones totales en las cuencas, tanto superficiales como subterráneas, en función de la disponibilidad natural del recurso. En efecto, si las respuestas sólo se basan en inyectar más agua en la cuenca y aumentar la eficiencia en el uso del recurso, es probable que la actividad económica se expanda territorialmente y la escasez hídrica nuevamente volverá a ser un problema en un tiempo cercano. Este enfoque no niega la inyección de más agua a la cuenca ni el aumento de la eficiencia hídrica, pero requiere que exista un límite de extracción que esté en correspondencia con la renovación natural del recurso más los recursos artificiales que se le inyecten.

Una forma de abordar el desafío anterior aplicado con éxito en Australia en casos de cuencas con escasez hídrica es introducir un enfoque que hace la diferenciación entre derechos de agua y asignaciones de agua. La

implementación práctica de estos conceptos es muy relevante para el caso de Copiapó (y también en Huasco y Salado), ya que apuntan a hacer de la disponibilidad del agua el objetivo central de la gestión del recurso hídrico. Mientras un derecho de agua especifica un volumen de extracción máxima teórico, una asignación es el volumen de agua que puede ser extraído en la práctica, el que es determinado anualmente en función de cuánta agua está disponible en el sistema. Un aspecto relevante es que tanto los derechos como las asignaciones son transables en mercados paralelos.

En este sentido, la experiencia australiana refleja que la dicotomía entre Estado y mercado no necesariamente debe ser tal en la gestión del agua. En efecto, el modelo de gestión del agua australiano está basado en un modelo profundamente de mercado pero con una activísima participación del Estado; en Australia el Estado no sólo regula el uso del agua sino que participa del mercado del agua comprando y vendiendo agua para fines ambientales.

El anterior punto conduce a otro aspecto del enfoque que merece ser incluido como elemento central del Programa, el cual es la prioridad que se le da a la asignación de agua al medio ambiente; el objetivo detrás de este concepto radica en el entendimiento de que los recursos hídricos están interconectados y que las necesidades de las personas y los ecosistemas dependen de ellos; asignar agua con fines ambientales implica caudales más estables en terrenos inundables, poblaciones de aves y peces sustentables, mejorías en la salud de los humedales y mejor calidad de agua, etc. Tanto en Australia como en Europa la gestión de los recursos hídricos tiene como eje central el mantenimiento de los servicios económicos y sociales que proporciona el medio ambiente hídrico. En este sentido la gestión de los recursos hídricos se enfoca tanto en la cantidad como la calidad de los recursos hídricos. Otro aspecto fundamental de la gestión hídrica en los casos de Australia, Europa y Estados Unidos es el empoderamiento de las partes interesadas (especialmente los usuarios del agua) en el control de los recursos y su gestión.

8 Bibliografía

- ABS (2006). 4610.0 Water Account, Australia 2004-05, Australian Bureau of Statistics, Commonwealth of Australia (available from: <http://www.abs.gov.au/AUSSTATS/abs@.nsf/Lookup/4610.0Main+Features12004-05> accessed 16/03/2016)
- ABS (2012). 4610.0 - Water Account, Australia, 2010-11, Australian Bureau of Statistics, Commonwealth of Australia (available from: <http://www.abs.gov.au/ausstats/abs@.nsf/Lookup/4610.0Main+Features12010-11> accessed 16/03/2016)
- ACIL Tasman Pty Ltd (2007). Water Reform and Industry, Prepared for Department of Industry, Tourism and Resources, Australia.
- American Olive Oil Producers Association. (2014). *Olive oil production facts*. Retrieved from <http://www.aopa.org/U.S.OliveOilProductionFacts-i-17-2.html>
- Arup. (2009). *Chief Liquidity Series: Water-related materiality briefings for financial institutions*. United Nations Environment Programme.
- Australia Tourism. (2016). *Australia*. Retrieved from Weather Sydney: <http://www.australia.com/en/facts/weather/sydney-weather.html>
- Australian Bureau of Statistics. (2011). *Water Account, Australia, 2009-10*. Canberra: Australian Bureau of Statistics.
- Australian Bureau of Statistics. (2016, 03 02). *Australian Bureau of Statistics*. Retrieved from Water Account, Australia: <http://www.abs.gov.au/AUSSTATS/abs@.nsf/DetailsPage/4610.02013-14?OpenDocument>
- Australian Government. (2012). *National Centre of Excellence in Desalination, Australia: Fact Sheet*. Western Australia, WA: Department of Environment, Australian Government.
- Australian Government. (2016, 03 17). *Australia Mines Atlas*. Retrieved from Gold: Fact Sheet: http://www.australianminesatlas.gov.au/education/fact_sheets/gold.html
- Australian Government. (2016, 03 17). *Australia Mines Atlas*. Retrieved from Copper: Fact Sheet: http://www.australianminesatlas.gov.au/education/fact_sheets/copper.html
- Australian Government: Bureau of Meteorology. (2015). *History of the National Water Account*. <http://www.bom.gov.au/water/nwa/development-of-the-nwa.shtml>: Australian Government.
- Australian Research Council. (2012). *Sustainable Water Management*. Australian Research Council.
- Australian Table Grape Association Inc. (2009). *Facts*. Retrieved from <http://www.australiangrapes.com.au/consumers/facts>
- Australian Table Grape Association Inc. (2012, 12 17). *Australian Table Grape Association*. Retrieved from Australian Table Grapes Fact Sheet: <http://www.australiangrapes.com.au/tools-resources/australian-table-grapes-fact-sheet/>

- Australian Trade Commission. (2013). *AusTrade*. Retrieved from Australia's dynamic water industry, fostering excellence in water management: <https://www.austrade.gov.au/International/Buy/Australian-industry-capabilities/environment-and-energy>
- Australian Water Recycling Centre of Excellence. (2013). *Australian Water Recycling Centre of Excellence*. Retrieved from Welcome: <http://www.australianwaterrecycling.com.au/>
- Australian Water Research and Development Coalition. (2012). *Australian Water Research and Development Coalition*. Australian Government.
- AWA (2016). Australian Water Association. (Available from www.awa.asn.au, accessed on 16/3/2016).
- AWWA Leak Detection and Water Accountability Committee. (1996). Committee Report - Water Accountability. *American Water Works Association*, 108 -111.
- Banco Mundial. (2011). *Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos*. Banco Mundial.
- Banco Mundial. (2016). *Population, total*. Retrieved from <http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>
- Barbero, A. (2006). The Spanish National Irrigation Plan. *OECD. Workshop on Agriculture and Water: Sustainability, Markets and Policies, Session 5 – Institutions and policies for agricultural water governance*. Australia.
- Beede and Goldhamer. (2005). *University of California Drought Management*. Retrieved from Irrigation Water Management of Olives Under Drought Conditions: http://ucmanagedrought.ucdavis.edu/Agriculture/Crop_Irrigation_Strategies/Olives/
- Berger, E. (2013, 11 23). (W. v. Igel, Interviewer)
- Bhattacharya, S. (2010) Environmental Impacts of Mineral Processing Projects and their Management In Guidance for Solving Environmental Challenges of Mining, Construction, Processing and Oil and Gas Field Projects (Ed. J. Bhattacharya), Wide Publications, Kolkata.
- British Geological Survey. (2015). *Annual Report: 2014 - 2015*. Ministry of Mines, Government of India.
- Bureau of Meteorology. (2015). *Bureau of Meteorology*. Retrieved from History of the National Water Account: <http://www.bom.gov.au/water/nwa/development-of-the-nwa.shtml>
- Bureau of Meteorology, Australian Government. (2016, 03 02). *Seasonal Streamflow Forecasts*. Retrieved from <http://www.bom.gov.au/water/ssf/about.shtml>
- C. Gerba, T. S. (1995). Water Quality Study of Greywater treatment. *Water Resource*, 109 - 116.
- C. Scott, S. V.-G.-O. (2014). *Irrigation efficiency and water-policy implications for river basin*. Hydrology and Earth System Sciences.
- C. Shock, B. S. (2013). *Strategies for Efficient Irrigation Water Use*. Oregon: Oregon State University.
- California Table Grape Commission. (2015). *Overview/History*. Retrieved from <http://www.tablegrape.com/overview.php>
- Centre of International Economic Studies. (2001). *Grapes, Wine and Water: Modelling water Policy Reforms in Australia*. Adelaide: Adelaide University.

- Cooley, H. (2015). *CALIFORNIA AGRICULTURAL WATER USE: KEY BACKGROUND INFORMATION*. Pacific Institute.
- CSIRO. (2016, 03 11). *Land and Water Area, CSIRO*. Retrieved from <http://www.csiro.au/en/Research/LWF/Areas/Water-resources/Assessing-water-resources/Sustainable-yields>
- D. Malone, L. T. (2009). *NSW strategic water information and monitoring plan: Final Report*. Sydney: NSW Office of Water.
- Department of Agriculture and food. (2005). *Maximising returns from water in the Australian vegetable industry: Western Australia*. Perth: Department of Agriculture and food.
- Department of Environment, Water, Heritage and the Arts. (2009). *Gold Coast Water: Final independent report for the pressure and leakage management project*. Brisbane: Department of Environment, Water, Heritage and the Arts.
- Department of Industry, Tourism and Resources. (2007). *Tailings Management: leading practice sustainable development program for the mining industry*. Department of Industry, Tourism and Resources.
- Department of the Environment. (2015). *Fact Sheet*. Retrieved from Infrastructure investment in the Murray-Darling Basin : <http://www.environment.gov.au/system/files/resources/40d2b733-9c54-4521-8f29-d6138c65def3/files/infrastructure-investment-murray-darling-basin-factsheet.pdf>
- DIIS (2016) Leading Practice Handbook – Water Management. Department of Industry, Innovation and Science, Australian Government. (Available from: <http://www.industry.gov.au/resource/Programs/LPSD/Pages/LPSDhandbooks.aspx>, accessed on 16/3/2016)
- Doménech, L., & Sauri, D. (2010). Socio-technical transitions in water scarcity contexts: public acceptability of greywater reuse technologies in the Metropolitan Area of Barcelona. *Resource*, 53 - 62.
- Dunne, R. (2012). Water Water Everywhere and Not a Drop to Drink, Nor Do I Know Its Whereabouts. In: *Water in Mineral Processing, Proceedings of the First International Symposium, SME, Colorado, USA*, pp 1-15.
- Eurostat. (2012). *Eurostat, statistics explained*. Retrieved from Water statistics: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Water_statistics
- FAO Water. (2015). *Crop Water Information: Olive*. United Nations.
- Fleming, C. (2003). *THE ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL CASE FOR RECOVERING CYANIDE FROM GOLD PLANT TAILINGS*. SGS MINERALS SERVICES.
- Food and Agriculture Organization of the UN. (2009). *Food and Agriculture Organization of the UN*. Retrieved from Jordan Basin: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/basins/jordan/index.stm>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016). *Statistics Division: Production / Crops*. Retrieved from Faostat: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016). *Statistics Division: Production / Crops*. Retrieved from Faostat: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>

- Foods & Wines from Spain. (2016, 03 14). *Foods & wines from Spain*. Retrieved from Table grapes: <http://www.foodswinesfromspain.com/spanishfoodwine/global/products-recipes/products/4446313.html>
- Freedman, J., & Enssle, C. (2015). *Adressing water scarcity through recycling and reuse: a menu for policy makers*. General Electric (GE).
- G. Oron, M. A. (2014). Greywater use in Israel and worldwide: Standards and prospects. *Water Research*, 92 - 101.
- G. Rao, S. S. (2015). *National Steel Policy: Challenges Before Iron Ore Producers*. The Indian Institute of Metals.
- G. Salmoral, M. A. (2010). *The water footprint of olive oil in Spain*. Madrid: Fundación Botín.
- GHD. (2012). *Hydrology Versus Hydraulics: How to best model the Murray-Darling Basin*. GHD.
- Global Water Partnership (GWP). (2010). *What is IRM?* Retrieved 02 11, 2015, from <http://www.gwp.org/The-Challenge/What-is-IWRM/>
- Gobierno Regional de Atacama. (2016, 03 15). *Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo*. Retrieved from Gobierno Regional de Atacama: <http://www.subdere.cl/divisi%C3%B3n-administrativa-de-chile/gobierno-regional-de-atacama>
- Gómez, C. M. (2009). La eficiencia en la asignación del agua. Principios básicos y hechos estilizados en España. *Economía y medio ambiente*, 23 - 40.
- Gual, M., & Velázquez, E. (2008). Fomento de la eficiencia en el consumo de agua en la Cuenca del Guadalquivir. Simulación del efecto de las políticas de mejora del regadío sobre la. *Jornadas de Economía Crítica*.
- Gunn-Lopez, E. M. (2012). Implications of the Modernization of Irrigation Systems. In B. M. E. Lopez Gunn, *Water, Agriculture and the Environment in Spain* (pp. 241 - 256). Spain.
- H. Glasgow, J. B. (2004). Real-time remote monitoring of water quality: a review of current applications, and advancements in sensor, telemetry, and computing technologies. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 409 - 488.
- H. March, D. S.-A. (2014). The end of scarcity? Water desalination as The New Cornucopia for Mediterranean Spain. *Journal of Hydrology*.
- Haisman, B. (2004). *Murray-Darling River Basin Case Study Australia: Background Paper*. World Bank.
- Hauser, A. (2012). *An Architectural Framework for Smart Water Networks*.
- Herrera, J., & Navarrete, M. (2016, 02 15). Detectan que en 14 comunas se incumplen los criterios de calidad del agua potable. *Latercera*.
- Hoff, H. B. (2011). A Water Resources Planning Tool for the Jordan River Basin. *Water*, 718 - 736.
- ICE WaRM. (2016, 03 15). *ICE WaRM*. Retrieved from Who we are: <http://www.icewarm.com.au/page.php?pld=117>
- Imperial Irrigation District (IID). (2007). *Efficiency Conservation Definite Plan, Final Report*. Imperial, California.
- Index Mundi. (2015). *United States Fresh Table Grapes Production by Year*. Retrieved from <http://www.indexmundi.com/agriculture/?country=us&commodity=grapes&graph=production>

- Info Mine. (2012, 03). *Info Mine*. Retrieved from Paste: Tailings Management: <http://www.infomine.com/publications/docs/InternationalMining/IMApr2012b.pdf>
- Infoagro. (2016, 03 14). *Infoagro*. Retrieved from aceituna mesa: <http://www.infoagro.com/olivo/aceitunamesa.htm>
- Instituto de Nacional Estadística. (2012). *Encuesta sobre el Suministro y Saneamiento del Agua*. Madrid: Instituto de Nacional Estadística.
- Internacional Telecommunication Union. (2014). *Smart water management in cities*. United Nations.
- Irriman Life. (2015, 01 22). *Irriman Life*. Retrieved from http://irrimanlife.eu/wp-content/uploads/2015/01/www.iagua_.es_.pdf
- ISO (2013). International Standard 14046 – Environmental management – Water footprint – Principles, requirements and guidelines. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Israel National News. (2009, 3 23). *Israel National News*. Retrieved from UN: Israel #1 World Leader in Water Recycling: <http://www.israelnationalnews.com/News/News.aspx/130565#.VruLj1h97IU>
- J. Crabtree, J. F. (2013, 02 19). *Financial Times*. Retrieved from Indian iron ore sector faces torrid time: <http://www.ft.com/intl/cms/s/0/c25abe2c-7a94-11e2-9cc2-00144feabdc0.html#axzz43BhoDJ6W>
- J. Faci González, O. B. (2008, 06 16). *Manejo del riego para mejorar la calidad de variedades apirenas de uva de mesa en el valle del Ebro*. Retrieved from <http://www.aragoninvestiga.org/Manejo-del-riego-para-mejorar-la-calidad-de-variedades-apirenas-de-uva-de-mesa-en-el-Valle-del-Ebro/>
- Jamasmie, C. (2015, 08 14). *Mining.com*. Retrieved from India picks worst time to resume iron ore mining - analysts: <http://www.mining.com/india-picks-worst-time-to-resume-iron-ore-mining-analysts/>
- Joint Steering Committee for Water Sensitive Cities. (2009). *Evaluating options for water sensitive urban design - a national guide*. Joint Steering Committee for Water Sensitive Cities.
- K. Costigan, C. W. (2001). *A coupled modeling system of the hydrologic cycle within river basins*.
- Kanarek, A., & Michail, M. (1996). Groundwater recharge with municipal effluent: Dan region reclamation project, Israel. *Water, Science and Technology*, 227 - 233.
- Kumar, R., Sing, R.D. and Sharma, K.D. (2005) Water resources of India. Special Section, Water. *Current Science* 89(5):794-811.
- L. Allen, J. C.-S. (2010). *Overview of Greywater Reuse: The potential of greywater systems to aid sustainability water management*. Oakland, California: Pacific Institute.
- Lévy, V., Fabre, R., Goebel, B., Hertle, C. (2006). Water Use in the Mining Industry — Threats and Opportunities. In: *Proceedings of the Water in Mining Conference 2006, Brisbane, Qld, Australia, 14-16 November 2006*, pp. 289-295.
- MCA (2012) Water Policy. Mineral Council of Australia (Available from: http://www.minerals.org.au/file_upload/files/resources/MCA_Water_Policy_2012c.pdf, accessed on 16/3/2016).

- M. Fernandez-Zamudio, F. A. (2008). *Economic sustainability of Spanish table grapes in different water and technology contexts*. Valencia.
- M. Kellis, I. K. (2012). Review of Wastewater Reuse in the Mediterranean Countries, Focusing on Regulations and Policies for Municipal and Industrial Applications. *Global Nest*, 333 - 350.
- M. Sundaravadivel, S. V. (2003). *Rural water supply systems*. Sydney: Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).
- Mason, L., Lederwasch, A., Daly, J., Prior, T., Buckley, A., Hoath, A., & Giurco, D. (2011). *Vision 2040: Mining, Minerals and Innovation - a vision for Australia's mineral future*. CSIRO Minerals Down Under Flagship.
- Mining Facts. (2012). *Mining Facts*. Retrieved from What is the role of cyanide in mining?: <http://www.miningfacts.org/environment/what-is-the-role-of-cyanide-in-mining/>
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2015). *Innovación e Investigación en el sector del agua - Líneas de Estrategias*. Madrid: Gobierno de España.
- Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación. (2012). *Spain's positioning leadership key factors*. Madrid: Gobierno de España.
- Ministry of Health. (2016). *Environmental Health*. Retrieved from Grey Water: http://www.health.gov.il/English/Topics/EnviroHealth/Reclaimed_Water/Pages/gray_water.aspx
- Ministry of Industry, Trade and Labour. (2009). *Israel's Water Industry, a history of turning desert into oasis*. Jerusalem: Government of Israel.
- Ministry of Mines. (2014). *Indian Minerals Yearbook 2012 (Part-III: Mineral Review)*. Government of India.
- Ministry of Mines. (2015). *Annual Report 2014-2015*. Government of India.
- MIT Technology Review. (2013). *New Technologies in Spain: Improving Water Around the World*. Madrid: Spanish Institute for Foreign Trade.
- MCA (2012) Water Policy. Mineral Council of Australia (Available from: http://www.minerals.org.au/file_upload/files/resources/MCA_Water_Policy_2012c.pdf, accessed on 16/3/2016).
- Municipal Water Works Administration. (2012). *Urban Water and Sewage Sector in Israel Main problems and Planned Reforms*. Jerusalem: State of Israel.
- Murray Darling Basin Authority. (2016). *Murray River*. Retrieved from Murray Darling Basin: <http://www.murrayriver.com.au/about-the-murray/murray-darling-basin/>
- Murray–Darling Basin Authority. (2012). *Hydrologic modelling to inform the proposed basin plan: methods and results*. Canberra: Murray–Darling Basin Authority.
- N. Apostolidis, C. H. (2011, 9 9). *Water*. Retrieved from Water Recycling in Australia: www.mdpi.com/2073-4441/3/3/869/pdf
- Nacional Centre of Excellence in Desalination. (2014). *Nacional Centre of Excellence in Desalination Australia*. Retrieved from Rockingham Desalination Research Facility: <http://desalination.edu.au/wp-content/uploads/2014/04/NCEDA-RDRF-Facility-Final.pdf>

- Naciones Unidas. (2016, 03 15). *UN*. Retrieved from The human right to water and sanitation:
http://www.un.org/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml
- National Centre of Excellence in Desalination. (2012). *National Centre of Excellence in Desalination Australia*. Retrieved from About us: <http://desalination.edu.au/about-us/>
- National Water Commission (2014) 10 Years of Water Wins: Australia's National Water Initiative. Commonwealth of Australia, Canberra.
- Northey, S. and Haque, N. (2013). Life cycle based water footprints of selected mineral and metal processing routes. In: Proceedings of the Water in Mining Conference 2013, Brisbane, Qld, Australia, 26-28 November 2013, pp. 113-128.
- Northey, S.A., Haque, N., Lovel, R., Cooksey, M. (2014). Evaluating the application of water footprint methods to primary metal production systems. *Minerals Engineering* 69, 65-80.
- NSF Center for Integrated Pest Management. (1999). *Crop profile for grapes (table) in California*. Raleigh: North Carolina State University.
- NSW Government. (2009). *NSW strategic water information and monitoring plan: Final Report*. Sydney: NSW Office of Water.
- NSW Government. (2013). *Department of Primary Industries Water*. Retrieved from Real-time data:
<http://www.water.nsw.gov.au/realtime-data>
- NSW Government. (2016). *New South Wales Government*. Retrieved from Hunter Integrated Telemetry System:
<http://waterinfo.nsw.gov.au/hunter/>
- OECD. (2002). *The Indian mining sector: effects on the environment & FDI inflows*. Paris: OECD.
- OECD Observer. (2015, 04). *OECD Observer*. Retrieved from Israel: Innovations overcoming water scarcity:
http://www.oecdobserver.org/news/fullstory.php/aid/4819/Israel:_Innovations_overcoming_water_scarcity.html
- Olive Australia. (2016, 03 14). *Olive Australia*. Retrieved from Variety Selection:
http://www.oliveaustralia.com.au/About_Olive_Trees/Variety_Selection/variety_selection.html
- Olive Oil Source. (2016, 03 14). *Olive oil source*. Retrieved from Olive varieties:
<http://www.oliveoilsource.com/page/olive-varietals>
- Palmer, N. (2012). *DESALINATION IN AUSTRALIA: THE FACTS*. Western Australia, WA: National Centre of Excellence in Desalination .
- Planning Department of the Israeli Water Authority. (2011). *The State of Israel: National Water Efficiency Report*. Jerusalem: Ministry of National Infrastructures Planning Department.
- Queensland Health. (2015). *Safe water on rural properties*. Brisbane: Queensland Health.
- R. Gálvez, R. C. (2014). IRRIGATION SCHEDULE ON TABLE GRAPES BY STEM WATER POTENTIAL AND VAPOR PRESSURE DEFICIT ALLOWS TO OPTIMIZE WATER USE. *Ciência Téc. Vitiv*, 60 - 70.
- R. Koech, R. S. (2010). *Automation and Control in Surface Irrigation Systems: Current Status and Expected Future Trends*. Toowoomba: University of Southern Queensland.

- R. Tiwary, D. S. (2000). *Mine water quality and its management in Indian metalliferous mines*. Dhanbad: Central Mining Research Institute.
- Rankin, W.J. (2013) *Australasian Mining and Metallurgical Operating Practices (Edited Volume)*. The Sir Maurice Mawby Memorial Volume, Third Edition, Monograph 28. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, Australia.
- Raso, J. (2013). *Updated report on wastewater reuse in the European Union*. European Union.
- Rio Tinto. (2015). *Rio Tinto*. Retrieved from Water Management: <http://www.riotinto.com/ironore/water-management-12094.aspx>
- Rural Industries Research and Development Corporation. (2003). *Olive water use and yield - monitoring the relationship*. Rural Industries Research and Development Corporation.
- S. Vigneswaran, M. S. (2004). *RECYCLE AND REUSE OF DOMESTIC WASTEWATER*. Oxford: Eolss Publishers.
- Schmitt, R. (2015, 07 30). *Australian Mining*. Retrieved from Case Study: Paste thickening optimises tailings disposal and water recovery at iron ore mine: <http://www.australianmining.com.au/features/case-study-paste-thickening-optimises-tailings-dis>
- Secretaria Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo. (2002). *DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL PLAN REGIONAL DE DESARROLLO URBANO: REGIÓN DE ATACAMA*.
- SENCE. (2013). *Informe Ejecutivo Levantamiento Demandas de Capacitación De la Región de Atacama*. Ministerio del Trabajo y Prevención Social.
- Stornoway. (2016, 03 17). *Stornoway*. Retrieved from Our operations: <http://www.stornoway.com.au/#ouoperations>
- Strauss Water. (2015). *Strauss Water*. Retrieved from Israel leads the way: <http://www.strauss-water.com/technology/israel-leads-the-way>
- Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2014). *Informe de Gestión del Sector Sanitario*. Santiago: Superintendencia de Servicios Sanitarios.
- Talbot, D. (2015). *MIT Technology Review*. Retrieved from Megascale Desalination: <https://www.technologyreview.com/s/534996/megascale-desalination/>
- Technology Innovation Agency. (2012). *The Mining Sector Innovation Strategies Implementation Plan*. Technology Innovation Agency.
- The World Bank. (2016, 03 15). *The World Bank Data*. Retrieved from Data: Population, total: <http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>
- Tortajada, C. (2006). *Water transfer from the Ebro River*. Atizapán, Mexico: Third World Centre for Water Management.
- Tous, J. (2016). Olive growing in Australia. *Town and Country Farmer*, 61 - 69.
- UNEP (2012). *System of Environmental-Economic Accounting for Water in 2012*. Department of Economic and Social Affairs, 216p.

- United Nations. (2009). *Water footprint analysis (hydrologic and economic) of the Guadania River Basin*. Madrid: United Nations.
- Universia Internacional. (2012). *Universia Internacional*. Retrieved from Clima en Israel: <http://internacional.universia.es/asia-pacifico/israel/vivir/clima/index.htm>
- Universidad Católica Norte. (2007). *Informe de caracterización ARDP Región de Atacama*.
- Universidad de Chile. (2015). *Informe de ejecución proyectos FIC gobierno regional de Atacama: "UCHILECREA: un centro que innova en la agricultura de Atacama"*. Universidad de Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas.
- Universidad de Chile. (2015). *UCHILECREA: un centro que innova en la agricultura de Atacama*. Santiago: Universidad de Chile.
- Universidad de Chile. (2016). *Informe de Avance Etapa III: Diseño de Hoja de Ruta*. Santiago de Chile.
- Universidad de Chile;. (2016). *Informe Final Etapa II: Identificación de Oportunidades y Levantamiento de Brechas*. Santiago de Chile.
- University of Melbourne. (2007). *Hydrology and Earth System Sciences*. Retrieved from Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification: <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1633/2007/hess-11-1633-2007.html>
- USDA. (1999, 12 15). *Crop Profile for Grapes (Table) in California*. Retrieved from <http://www.ipmcenters.org/cropprofiles/docs/cagrapes-table.pdf>
- Water Authority. (2012). *Reduction of water loss in municipal water supply systems*. Jerusalem: Water Authority.
- Water Authority Planning Department. (2010). *A Long-Term Master Plan for the Water Sector*. Jerusalem: Ministry of National Infrastructures Planning Department.
- Water Corporation. (2015). *Water Recycling*. Retrieved from <http://www.watercorporation.com.au/water-supply-and-services/solutions-to-perths-water-supply/water-recycling>
- Water Footprint Network (2012). *Water footprint assessment manual*. Earthscan, 228p.
- WULCA (2013) *Assessment of Use and Depletion of Water Resources within LCA*. (Available from: www.wulca-waterlca.org, accessed 13/08/2013).
- Water Resources Group. (2012). *A Catalogue of Good Practices in Water Use Efficiency - A pilot phase report*. Stockholm: Stockholm International Water Institute.
- WELS (2016). *Water Efficiency Labelling and Standards (WELS) scheme*. Commonwealth of Australia. (Available from: www.waterrating.gov.au/industry, accessed 16/03/2016).
- Wiemeyer, R. E. (2004). *Cyanide Hazards to Plants and Animals from Gold Mining and Related Water Issues*. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 21-54.

- Williams, D. A., & Williams, D. J. (2004). Trends in tailings storage facility design and alternative disposal methods. *ACMER Workshop on Design and Management of Tailings* (p. 28). Perth: Australian Centre for Minerals Extension and Research.
- World Bank. (2016, 03 01). *Data*. Retrieved from Improved water source, rural (% of rural population with access): <http://data.worldbank.org/indicator/SH.H2O.SAFE.RU.ZS/countries/1W-CL-IL-ES-AU?display=graph>
- Wright, G. L., & Malone, D. C. (1991). "Co-operating agency" policy for water resources data management, in *Proceedings: International Hydrology and Water Resources Symposium*. Perth, Australia: Institution of Engineers.
- Yara. (2015). *US Tomato Production*. Retrieved from <http://www.yara.us/agriculture/crops/tomato/key-facts/us-tomato-production/>

Appendix A: Consumo Agrícola

Uvas de Mesa

En la Confederación Hidrográfica del Segura, sur de España, la dotación promedio de la uva de mesa es de 3.636 m³/ha/año, con variaciones por sectores de 2.800 a 5.700 m³/ha/año. Otra fuente sugiere un rango de 3.500 m³/ha/año a 5.100 m³/ha/año en el 2005 para el consumo de agua en las regiones de Alicante y Murcia (M. Fernandez-Zamudio, 2008). En el mismo año, el Valle de San Joaquín en California registró un consumo de agua para uva de mesa de entre 5.888 m³/ha/año a 7.112 m³/ha/año (R. Gálvez, 2014).

De acuerdo a las Naciones Unidas y su estudio en la huella de agua en la cuenca del Guadiana en España, el consumo de agua de viñedos es entre 300 – 600 m³/ton de producción (United Nations, 2009). El centro de estudios económicos internacionales en Australia encontró que el consumo medio de agua de viñedos en el país es 684,9m³/ton (Centre of International Economic Studies, 2001). En Sudáfrica el consumo medio de agua de uvas de mesa y de vino es entre 213 - 263 m³/ton (Arup, 2009). Se debería notar que estas cifras incluyen consumo de uva de vino también y entonces debemos ser cauteloso.

Aceitunas

En España, la asignación de agua para la producción de aceitunas en la cuenca de Guadalquivir (sur de España) en el 2005 fue de 2.281 m³/ha/año (G. Salmoral, 2010).⁸ Por el contrario, varios estudios realizados en la cuenca del Guadiana (suroeste de España) sugieren un rango de consumo de agua de entre 1.186 m³/ha/año y 7,350 m³/ha/año.⁹ El consumo de agua promedio para el cultivo de aceitunas el año 2005 en el valle de Sacramento y el valle de San Joaquín alcanzó los 9.700 m³/ha/año y 9.900 m³/ha/año respectivamente (Beede and Goldhamer, 2005). La mayoría de los productores de aceitunas en Australia utiliza entre 3.000 m³/ha/año y 5.000 m³/ha/año; no obstante, en las áreas en las que se registra poca lluvia (250 – 300 mm) se aplicó entre 5.500 y 10.000 m³/ha/año (Tous, 2016). Dado que esta última cifra se compara mejor con la Región de Atacama en términos de lluvia, se usará para propósitos comparativos.

El estudio de la huella de agua en la cuenca del Guadiana por Naciones Unidas dice que el consumo medio de agua de aceitunas en España es entre 1000 – 1.500 m³/ton (United Nations, 2009), mientras otro fuente dice que el consumo es entre 450 - 1100 m³/ton (Centre of International Economic Studies, 2001). Estudios de 4 direcciones en el Sur de Australia dice que el consumo de agua de aceitunas es muy variable, entre 319,5 – 1.934 m³/ton (Rural Industries Research and Development Corporation, 2003). De acuerdo al Food and Agriculture Organization de las Naciones Unidas el consumo medio de aceitunas en el Mediterráneo es entre 500 – 666,7 m³/ton (FAO Water, 2015).

Tomates

Varios estudios realizados respecto del consumo de agua para la producción de tomates en la cuenca del Guadiana en España, realizados entre el 2001 y el 2005, sugieren un rango de consumo desde los 3.730

⁸ El clima en la región donde está la cuenca es mediterránea, pero debido sistemas desde el Atlántico, en el oeste precipita más que la media anual de España. Las precipitaciones alcanzan entre 150mm y 1000mm por año.

⁹ El clima en la región donde está la cuenca es mediterráneo y semi árido. Las precipitaciones alcanzan entre 350mm y 1000mm por año.

m³/ha/año a los 6.510 m³/ha/año (United Nations, 2009). En California, la intensidad de riego o consumo de agua para tomates fluctúa entre 5.500 y 8.000 m³/ha/año (Cooley, 2015). El departamento de Agricultura y Alimentos (2005) de Australia estimó que el consumo promedio de agua para la producción de tomates en Canarvon, la principal área de producción de tomates en el Oeste de Australia es de 6.000 m³/ha/año.

En la cuenca del Guadalquivir en España el consumo de agua varía entre 76,1 – 228,9 m³/ton entre distintas regiones en la cuenca (Gual & Velázquez, 2008). Un Informe del Department of Agriculture and Food (2005) de Australia dice que el consumo de agua de tomate en Western Australia (WA) es 161,3 m³/ton. El centro de estudios económicos internacionales en Australia dice que el consumo medio de agua de tomate en el Mediterráneo (Italy, Greece y Morrocco) es aproximadamente 125 m³/ton (Centre of International Economic Studies, 2001).

CONTÁCTENOS

t +5622 7973600

e edmund.claro@csiro.au

w www.csiro.cl

AT CSIRO, WE DO THE EXTRAORDINARY EVERY DAY

We innovate for tomorrow and help improve today – for our customers, all Australians and the world.

Our innovations contribute billions of dollars to the Australian economy every year. As the largest patent holder in the nation, our vast wealth of intellectual property has led to more than 150 spin-off companies.

With more than 5,000 experts and a burning desire to get things done, we are Australia's catalyst for innovation.

CSIRO. WE IMAGINE. WE COLLABORATE.
WE INNOVATE.