

CIENCIA E INNOVACIÓN PARA LOS DESAFÍOS DEL AGUA EN CHILE

Estrategia Nacional de Investigación, Desarrollo e
Innovación para la Sostenibilidad de los Recursos
Hídricos



AGRADECIMIENTOS

El informe de Ciencia e Innovación para los Desafíos del Agua en Chile ha sido elaborada con el aporte de más de cien personas que, desde distintos lugares y perspectivas, compartimos la preocupación por el cuidado del agua como recurso vital para nuestra sobrevivencia y desarrollo futuro. Gracias a este dedicado esfuerzo, durante más de un año de trabajo y en un diálogo que permitió integrar saberes, disciplinas y experiencias diversas en esta reflexión, presentamos esta propuesta estratégica.

Por ello, queremos expresar nuestro reconocimiento y gratitud a cada una de ellas.

COMISIÓN DE I+D+I PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

GONZALO RIVAS y MARGARITA D'ETIGNY, *Presidentes de la Comisión, Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo CNID*

XAVIERA DE LA VEGA, *Secretaria Ejecutiva de la Comisión, CNID*

PATRICIO ACEITUNO, *Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas*

MARCELA ANGULO, *Corporación de Fomento de la Producción*

CARLOS BARROETA, *Aguas Andinas*

NICOLA BORREGAARD, *Ministerio de Energía*

ULRIKE BROSCHEK, *Fundación Chile*

GINO CASASSA, *Geoestudios, Universidad de Magallanes*

PAMELA CHÁVEZ, *Aguamarina y Consejera CNID*

FERNANDO CONCHA, *Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería, Universidad de Concepción*

ROCÍO DUQUE, *Consultora*

CARLOS ESTÉVEZ, *Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas*

ALEJANDRA FIGUEROA, *Ministerio de Medio Ambiente*

RODRIGO FUSTER, *Universidad de Chile, Facultad de Agronomía*

JOSÉ GONZÁLEZ DEL RÍO, *Junta de Vigilancia Río Limari*

ÁLVARO HERNÁNDEZ, *Consejo Minero-Codelco*

EDUARDO HOLZAPFEL, *Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería, Universidad de Concepción*

CLAUDIO IGLESIS, *Centro de despacho económico de carga Sistema Interconectado Central, CEDEC-SIC*

JULIO LAVÍN RETAMAL, *Asociación Maule Norte*

JEAN PIERRE LASSERRE, *CORMA/CMPC*

ELISABETH LICTEVOUT, *Consultora, Región de Tarapacá*

MARIO MARÍN, *Presidente Comité de Hortalizas de Chile, Hortach*

MARÍA LORETO MERY, *Comisión Nacional de Riego*

FRANCISCO MEZA, *Centro de Cambio Global, Pontificia Universidad Católica de Chile*

HUMBERTO PEÑA, *Consultor*

ROBERTO PIZARRO, *Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental, Universidad de Talca*

REINALDO RUIZ, *Delegado Presidencial para los Recursos Hídricos*

CLAUDIO SEEBACH, *Asociación Gremial de Generadores de Chile*

GABRIEL SELLES, *Instituto de Investigaciones Agropecuarias*

CLAUDIO VÁSQUEZ, *Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas*

Colaboradores:

Alfredo Apey Guzmán, *Odepa*

Cristián Navarrete, *CNR*

Leonardo Pizarro Fuentes, *CNR*

Bernabé Tapia Cruz, *Odepa*

Subcomisión Generación de información y conocimiento de base para la Sostenibilidad de los Recursos Hídricos

HUMBERTO PEÑA (Coordinador de la Subcomisión, Consultor), KATHERINE VILLARROEL (Secretaría Ejecutiva de la Subcomisión, CNID), GINO CASASSA (Geoestudios, Universidad de Magallanes), PAULA DÍAZ (Ministerio del Medio Ambiente), EUGENIO CELEDÓN (Consultor en Hidrogestión), ELISABETH LICTEVOUT (Consultora), FERNANDO MERCADO (CIREN), ROBERTO PIZARRO (Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental, Universidad de Talca), DIEGO RIVERA (CRHIAM, Universidad de Concepción)./Colaboradores: JAMES MACPHEE (Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile), MARCELO OLIVARES (Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile), JORGE HUANANTE (DGA), SHELLEY MACDONELL (CEAZA y Conaphi).

Subcomisión Desarrollo y aplicación de tecnologías para aumentar la oferta y disponibilidad de Recursos Hídricos Sostenibles

ULRIKE BROSCHEK (Coordinadora de la Subcomisión, Fundación Chile), JAIME ÁLVAREZ (Secretario Ejecutivo de la Subcomisión, CNID), CARLOS BERROETA (Aguas Andinas), PAMELA CHÁVEZ (CNID/Aguamarina), FERNANDO CONCHA (CRHIAM, Universidad de Concepción), VERÓNICA DROPELMANN (Ministerio del Medio Ambiente), ROCÍO DUQUE SANTA MARÍA (Consultora), ÁLVARO HERNÁNDEZ (Consejo Minero-CODELCO), MARÍA PÍA HEVIA (AVINA), EDUARDO HOLZAPFEL (CRHIAM, Universidad de Concepción), CARLOS KRIMAN, (Consultor), PÍA LARRONDO (Centro de innovación UC), ANDREA OSSES (DGA), REINALDO RUIZ (Delegado Presidencial para los Recursos Hídricos), GABRIEL SELLES (INIA), JAIME YÁÑEZ (CNR).

Subcomisión Generación de Investigación, Desarrollo e Innovación para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos

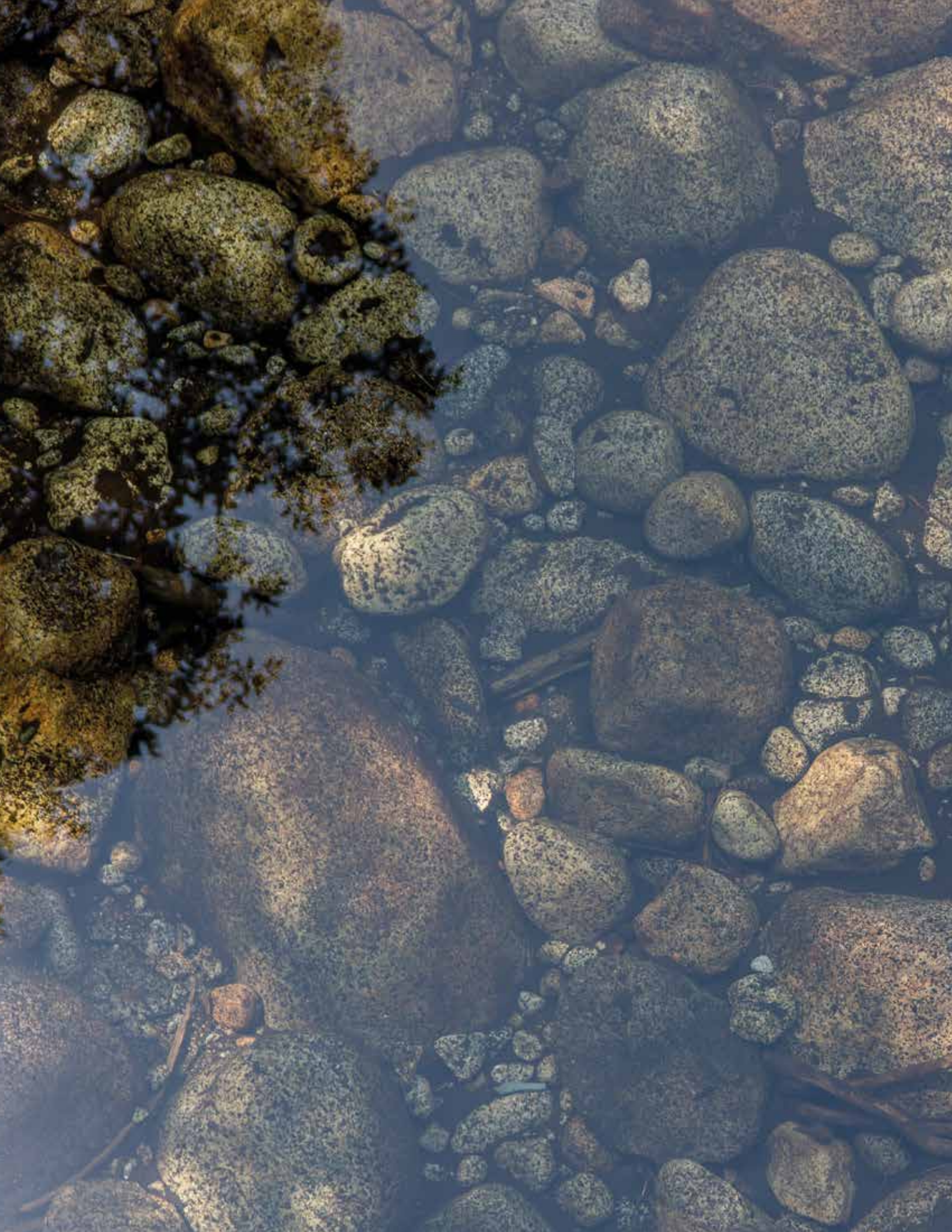
CLAUDIO VÁSQUEZ (Coordinador de la Subcomisión, CEAZA), XAVIERA DE LA VEGA (Secretaría Ejecutiva de la Subcomisión, CNID), JOSÉ LUIS ARUMÍ (Facultad de Ingeniería Agrícola y Centro CRHIAM, Universidad de Concepción), DAGOBERTO BETTANCOURT (Junta de Vigilancia Río Elqui), JAIME CUEVAS (CEAZA), PAULA DÍAZ (Ministerio del Medio Ambiente), AXEL DOUROJEANNI (Fundación Chile), FRANCISCO ECHEVERRÍA (H2O Abogados), RODRIGO FUSTER (Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile), ALEX GODOY FAÚNDEZ (CRHIAM, Universidad del Desarrollo), MANUEL IGNACIO HERTZ (Sociedad Nacional de Agricultura), CLAUDIO IGLESIAS (Centro de Despacho Económico de Carga Sistema Interconectado Central), ADRIÁN LILLO (Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas), CAROLINA MORALES (Asesora de Delegado Presidencial del Agua), MARÍA CAROLINA MOMBIELA (Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas), ERNESTO SHULBACH (DGA), MAURICE STREIT (Fundación para la Innovación Agraria), ANAHÍ URQUIZA (Universidad de Chile, Flacso, CR2), JUAN ENRIQUE VALLEJOS (Director de Asociación de Canalistas del Biobío).

Encuentro Macrorregional Norte, La Serena 29 de marzo de 2016

CARLOS GALLEGUILLOS CASTILLO (DGA), NICOLÁS CAÑETE (Gore), MARÍA JOSÉ ROSALES (Ceaza), JAVIER ARAYA (Gore), JORGE FERNÁNDEZ (SAG), ROCIO DUQUE (Conicyt), INÉS GONZÁLEZ (Municipalidad de La Higuera), BEATRIZ LIZANA (Indap), CLAUDIO BOUCHETTE (Core), MARIANO LÓPEZ (FIA), CÉSAR VALENZUELA (FIA), KARINA MILLÁN (DOH), INGA LEHMANN (DOH), GONZALO MÁRQUEZ (Codeser), RENÉ PACHECO (INIA), PATRICIO HEVIA (Consejo Regional), JOSÉ GONZÁLEZ (J.V. Río Limarí), MARÍA JOSÉ TAPIA (Pelambre), ROBERTO PIZARRO (Universidad de Talca), GONZALO GALLEGUILLOS (Seremi MOP), HERNÁN SAAVEDRA (Conaf), REINALDO RUIZ (Ministerio Interior), CRISTIÁN AGUIRRE (Gno. Policial Elqui), TEODORO COBA (Ceaza), ULRIKE BROSCHEK (Fundación Chile), ARTURO PERALTA (Red. Hid. Limari), HERNAN VILLARROEL (Liceo Ovalle), LUZ MARTÍNEZ (Prodesal), ANTONIO CONTRERAS (Canal Conaico), ROBELINDA AGUA (Asociación Municipio), ÁLVARO ISLA (CNR), EDUARDO ROZAS (Wip Consultor), JUAN CARLOS HUERTA (Agy), ANDRÉS SÁNCHEZ (Corfo), JENNY REVIS (Core), RUBÉN ESPINOZA (Junta V. Río Hurtado), GABRIEL MANCILLA (Cazalac), HERNÁN OSSES (Ministerio Salud), ARTURO RUIZ (DGA), HALID DOUD (Agrotek), FRANCISCO CODDOU (Pacifctek), SONIA MONTECINOS (Universidad de la Serena), ANDREA SANHUEZA (Pelambre), JOSÉ LUQUE (Ceitsaza), RODRIGO OLGUIN (DGA), PATRICIA LARRAIN (Inia), DAGOBERTO BOTA (Río Elqui), ELISABETH LICTEVOUT (Consultora Región de Tarapacá), EDUARDO FUENTEALBA (Delegación Presidencial en Recursos Hídricos), SHELLEY MACDONELL (Ceaza), FERNANDO CONCHA (Universidad de Concepción), CLAUDIO BALBONTÍN (Inia), DANILO CARVAJAL (Universidad Católica del Norte), XAVIERA DE LA VEGA (CNID), CRISTIÁN BAQUEDANO (Corporación de Desarrollo Productivo de Coquimbo), LORETO ROCO (Soc), MARIO JOFRÉ (Corminco), ANDREA CAÑAS (Arrau Ing), PABLO ARAYA (Seremi Desarrollo Social), JAIME CUEVAS (Ceaza), PATRICIO JOFRÉ (Ceaza), EDUARDO HOLZAPFEL (Universidad De Concepción), LILIAN JENNY (Conaf), VICTOR MUÑOZ (Universidad de Chile), CLAUDIO CAMPOS (Seremi Minería), CRISTIAN SÁEZ (Gore), JAIME ALVAREZ (CNID), ANDRÉS CHANG (Seremi Agricultura).

Encuentro Macroregional Sur Frutillar 26 de mayo de 2016

CRISTIÁN FRENE (IEB/RED LTSER), ROBERTO VILLARROEL (INE), JAVIER CERDA REYES (Universidad Austral), YOHANI WISTUBA (Seremi Salud), EDUARDO HOLZAPFEL (CRHIAM), ROBERTO PIZARRO (Universidad de Talca), CARLOS BERROETA (Aguas Andinas), ROLANDO ROJAS (Fundación Senda Darwin), WLADIMIR SILVA BÓRQUEZ (Fundación Senda Darwin), FRANCO NICOLETTI (ESSAL), JAVIER VIDAL R. (DGA/MOP), INTI GONZÁLEZ R. (CEQUA), JAVIER GARCÍA (Seremi Energía), JORGE RASMIRO (Seremi Medio Ambiente), SANDRO ARANEDA (Seremi Medio Ambiente), REINALDO RUIZ (Ministerio del Interior), ANDRÉS DNAL (SAG), CLAUDIO VÁSQUEZ (Ceaza), RAMÓN ESPINOZA (Alcalde de Frutillar), CRISTIÁN VÁSQUEZ (Municipalidad de Frutillar), CÉSAR HUENQUEO (Municipalidad de Frutillar), JOHANN KRAUSE (CNR), HÉCTOR ADRIAZOLA, JUAN CARLOS SILVA (Corfo), CARLA ASLERGA VEGA (Universidad de Chile), ADISON ALTAMIRANO (Universidad de la Frontera), EMILIO JORQUERA (Universidad de la Frontera), ENRIQUE MLYNAR (CNR), HERNÁN ALARCÓN (DOH), RICARDO CÁRCAMO (DOH), FERNANDO HERNÁNDEZ (CORE), RICARDO KUSCHEL (CORE), CLAUDIO OYARZÚN (CORE), ELIANA RODRÍGUEZ (SERCOTEC), ROCÍO ÁLVAREZ (SERCOTEC), CLAUDIO TORRES (Bienes Nacionales), ENZO JARAMILLO (Fosis), VLADIMIR OVANDO (Fosis), ORLANDO MISANOLA (Seremi de Salud), ALEJANDRO VERGES (ONEMI), XAVIERA DE LA VEGA (CNID), MARÍA DE LA ROSA (Alconser), LUIS INFANTE (Conaf), PAMELA FLORES PONCE (UGRT-Gore de los Lagos), JUAN ANCAPAN ARRIAGADA (SFSS), PEDRO ULLOA (Ministerio Desarrollo Social), CAROLINA RUIZ SOTO (Gobernación de Chiloé), VALENTINA ÁLVAREZ NIETO (Consejo Regional), ROSA TRONCOSO (SERNAGEOMIN), FELIPE AVILÉS MALDONADO (SERNAGEOMIN).



GLOSARIO DE TÉRMINOS

I+D+i	Investigación, Desarrollo e Innovación
CTI	Ciencia, Tecnología e Innovación
GIRH	Gestión Integrada de Recursos Hídricos
DMC	Dirección Meteorológica de Chile
CNID	Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo
COEIA	Comité de Orientaciones Estratégicas de Investigación en Agua
GWP	Asociación Mundial del Agua
OUA	Organización de Usuarios del Agua
DGA	Dirección General de Aguas
CONICYT	Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica
SEA	Servicio de Evaluación Ambiental
MMA	Ministerio de Medio Ambiente
FIA	Fundación para la Innovación Agraria
ICM	Iniciativa Científica Milenio
CORFO	Corporación de Fomento de la Producción



Esta obra está licenciada bajo la Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta
licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.
Usted es libre de copiar, distribuir la obra en cualquier medio o formato. Todo
ello a condición de le dé el crédito a esta obra de manera adecuada,
proporcionando un enlace a la licencia, e indicando si se han realizado
cambios. Puede hacerlo de cualquier forma razonable, pero no de
forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo del licenciante.
Además, de que el material no se use con propósitos comerciales
y no se produzcan obras derivadas sobre la obra original.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	III
COMISIÓN DE I+D+i PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS	V
RESUMEN EJECUTIVO	1
El Desafío Del Agua	1
Ciencia e Innovación para la Sostenibilidad de los Recursos Hídricos	1
INTRODUCCIÓN	7
Objetivos estratégicos	8
Principios de la Investigación, Desarrollo e Innovación	9
1. EL DESAFÍO DEL AGUA	11
Contexto Global	13
Situación del agua en Chile	15
Una mirada al futuro cercano: demandas hídricas de la agricultura y de la minería a 2030	17
2. CIENCIA E INNOVACIÓN PARA RECURSOS HÍDRICOS	21
I. Condiciones Habilitantes	25
Formación de recursos humanos en recursos hídricos	27
Capacidades científicas	28
Capacidades tecnológicas	29
Propuestas para fortalecer capacidades de base de I+D+i en recursos hídricos	30
II. Líneas estratégicas de la I+D+i para la sostenibilidad de los recursos hídricos	35
1. I+D+i para la comprensión de los procesos hidrológicos	36
2. I+D+i para la gestión integral de los recursos hídricos	39
3. I+D+i para la comprensión de los ecosistemas acuáticos	42
4. Desarrollo tecnológico para la sostenibilidad de los recursos hídricos	45
III. Iniciativas en curso para materializar la agenda	47
3. ANEXOS	51
Anexo 1: Estimación de la demanda de recursos hídricos para el sector agropecuario al 2030	53
Anexo 2: Generación de Información y Conocimiento de Base para la Sostenibilidad de los Recursos Hídricos	59
Anexo 3: Desarrollo y aplicación de tecnologías para aumentar la oferta y disponibilidad de Recursos Hídricos Sostenibles	90
Anexo 4: Generación de Investigación, Desarrollo e Innovación para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos	104

RESUMEN EJECUTIVO

El Desafío Del Agua

El fuerte incremento que ha experimentado tanto la población mundial como las actividades productivas, ha generado una demanda creciente por los recursos hídricos. En un contexto marcado por los efectos del cambio climático, hay múltiples regiones que hoy ven amenazadas las posibilidades de asegurar el acceso de agua a la población, o de disponer de ella en suficiente cantidad y la calidad necesaria para sostener las actividades que la sustentan.

En Chile este fenómeno nos afecta de manera particular, y sabemos que enfrentamos y seguiremos enfrentando condiciones más difíciles que las que hemos tenido en el pasado. Particularmente severos son los efectos en el régimen de lluvias, previéndose una significativa disminución en las precipitaciones. Las mayores temperaturas, implican asimismo, una menor acumulación de nieve en las altas cumbres, lo que genera un impacto adicional en la disponibilidad de agua. Esta es una situación que ya estamos viviendo en el país, y sus efectos se dejan sentir en múltiples áreas del territorio.

Estamos convencidos, de que las ciencias, el avance tecnológico y la innovación, pueden hacer un aporte insustituible al aseguramiento del abastecimiento de agua para nuestra población, a la conservación de nuestros ecosistemas y la riqueza de nuestra biodiversidad y a hacer sustentable nuestra matriz productiva y exportadora.

Este informe fue concebido como un instrumento que orienta y estimula la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación que son fundamentales para contar con el conocimiento y disponer de las herramientas tecnológicas que permiten una gestión integral y sostenible del agua.

Ciencia e Innovación para la Sostenibilidad de los Recursos Hídricos

Esta Agenda se construyó orientada por una Visión que afirma el aporte que la Ciencia, la Tecnología y la Innovación pueden hacer a favor de promover la sostenibilidad de los recursos hídricos. Asimismo, se sostiene en un conjunto de principios que nos parece indispensable asegurar para que dicho aporte se pueda materializar de la forma deseada.

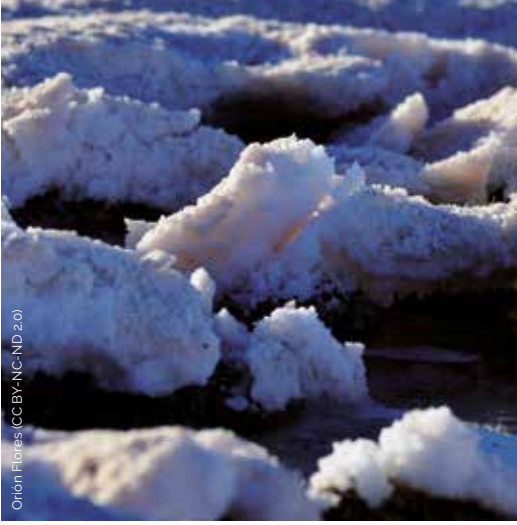
La formulación de la agenda consideró tres objetivos estratégicos, cada uno de los cuales fue trabajado por comisiones especializadas, cuya labor se benefició del aporte de numerosos especialistas e interesados. A partir de ese trabajo, la Comisión definió un conjunto acotado de prioridades, considerando por un lado las áreas más relevantes para los desafíos de nuestro país en sus distintos territorios, y por otro aquellas donde existen las mayores brechas de conocimiento o las más urgentes de abordar.

Es importante destacar que algunas de las iniciativas discutidas se encuentran ya en proceso de materialización, producto del compromiso de los actores que estuvieron involucrados en este ejercicio.

El cuadro a continuación presenta de manera resumida los elementos principales de la Agenda. La expectativa de quienes participamos de este trabajo es que ella se constituya en una guía efectiva para fortalecer el aporte de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación a cumplir el propósito de lograr la sostenibilidad de los recursos hídricos en Chile.

Resumen de los Elementos del Informe Ciencia e Innovación para los desafíos del agua en Chile

VISIÓN	Al llegar a 2030, Chile cuenta con el conocimiento, el desarrollo de las tecnologías y la gestión que le permitan contar con seguridad y disponibilidad de recursos hídricos para el consumo humano, desarrollo productivo y ecosistemas, y aportando al mundo desde una posición de liderazgo en materia de I+D+i en recursos hídricos.			
VALORES	<ul style="list-style-type: none"> • Una I+D+i de excelencia y sensible a los contextos físicos y sociales. • Una I+D+i con una mirada multidimensional que propicia la participación responsable de todos los actores. • Una I+D+i que comprende e integra las singularidades de nuestros territorios. • Una I+D+i que se articula y da sustento a las decisiones del Estado en todos los niveles y de la sociedad en sus diversas expresiones. • Una I+D+i que incrementa sus capacidades articulando distintos grupos de I+D del país y generando alianzas estratégicas internacionales. • Una I+D+i que contribuye a la implementación de los compromisos internacionales de sustentabilidad. • Una I+D+i que aporta a la comprensión y valoración social del agua. 			
OBJETIVOS ESTRATÉGICOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Generar información y conocimiento de base para la sostenibilidad de los recursos hídricos 2. Desarrollar y hacer disponible tecnologías para aumentar la oferta y disponibilidad de los recursos hídricos 3. Generar I+D+i para una gestión integrada de los recursos hídricos 			
CONDICIONES HABILITANTES	A. Información y conocimiento de base en recursos hídricos	<ul style="list-style-type: none"> • Integración sistemas de información de variables hidrológicas • Interoperabilidad de plataformas de información públicas • Sistemas de medición de extracciones • Desarrollo de mapas hidrológicos 		
	B. Fortalecimiento de capacidades de I+D+i y de su organización	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de capacidades para investigación tecnológica • Desarrollo de capacidades en ciencias sociales y humanidades • Desarrollo de capacidades regionales • Coordinación de la inversión y uso de equipamiento y redes • Fortalecimiento de las capacidades del sector público para el aprovechamiento de la I+D+i en recursos hídricos 		
	C. Un nuevo marco para la materialización de la Agenda	<ul style="list-style-type: none"> • Creación de instancias de coordinación de la I+D+i en recursos hídricos • Creación de instancias de coordinación de las instituciones públicas que se vinculan con la gestión de los recursos hídricos y pueden aprovechar la I+D+i generada 		
	D. Aporte al desarrollo de una Cultura Sostenible del Agua	<ul style="list-style-type: none"> • Generar instancias de colaboración ciencia-escuela que favorezcan el desarrollo de una cultura sostenible del agua en los niños, niñas y jóvenes del país • Generar instancias de colaboración ciencia-sociedad que favorezcan el desarrollo de una cultura sostenible del agua en nuestras comunidades 		
LÍNEAS ESTRATÉGICAS	1. Programas de I+D+i para la comprensión de los procesos hidrológicos, en relación a:	2. I+D+i para la Gestión Integral de los Recursos Hídricos, con foco en:	3. I+D+i para la comprensión de la relación agua ecosistema, con foco en:	4. Desarrollo tecnológico para la Sostenibilidad de los Recursos Hídricos
	<ol style="list-style-type: none"> 1.1 Gestión de aguas superficiales y subterráneas considerando singularidades territoriales del país 1.2 Hidrología de montañas 1.3 Hidrología de zonas áridas 1.4 Meteorología y climatología 	<ol style="list-style-type: none"> 2.1 Mejoras en la gobernanza del agua 2.2 Desarrollo de plataformas de coordinación local 2.3 Fortalecimiento de capacidades en las OUA 2.4 Conformación de mesas macro regionales CTI para GIRH 	<ol style="list-style-type: none"> 3.1 Indicadores biológicos para evaluación de la calidad del agua e identificación de fuentes contaminantes 3.2 Caudales ecológicos y caracterización de usos ambientales 3.3 Procesos hidrobiológicos de sistemas acuáticos 3.4 Estado ecológico de ecosistemas acuáticos continentales frágiles y vulnerables 3.5 Restauración dinámica de cauces y servicios ecosistémicos 	<ol style="list-style-type: none"> 4.1 Interoperabilidad de plataformas de información públicas 4.2 Plataformas para control de extracciones 4.3 Tecnología remota para requerimientos hídricos principales cultivos 4.4 Desarrollo de procesos secos para la minería 4.5 Plataformas para información y modelación a nivel de cuencas 4.6 Gestión de aguas lluvia e Infraestructura verde en ciudades
INICIATIVAS EN CURSO	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de la calidad de la información y aumento de la cobertura de la Red Hidrométrica Nacional en alianza con otras instituciones públicas • Determinación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos en las diferentes zonas agroecológicas de Chile • Conformación de la Red Nacional de Investigación en Recursos Hídricos • Desarrollo de una cultura del agua en el mundo escolar a través de la CTI • Constitución del Comité de Orientaciones Estratégicas para la Investigación en Agua 			



Orion Flores (CC BY-NC-ND 2.0)



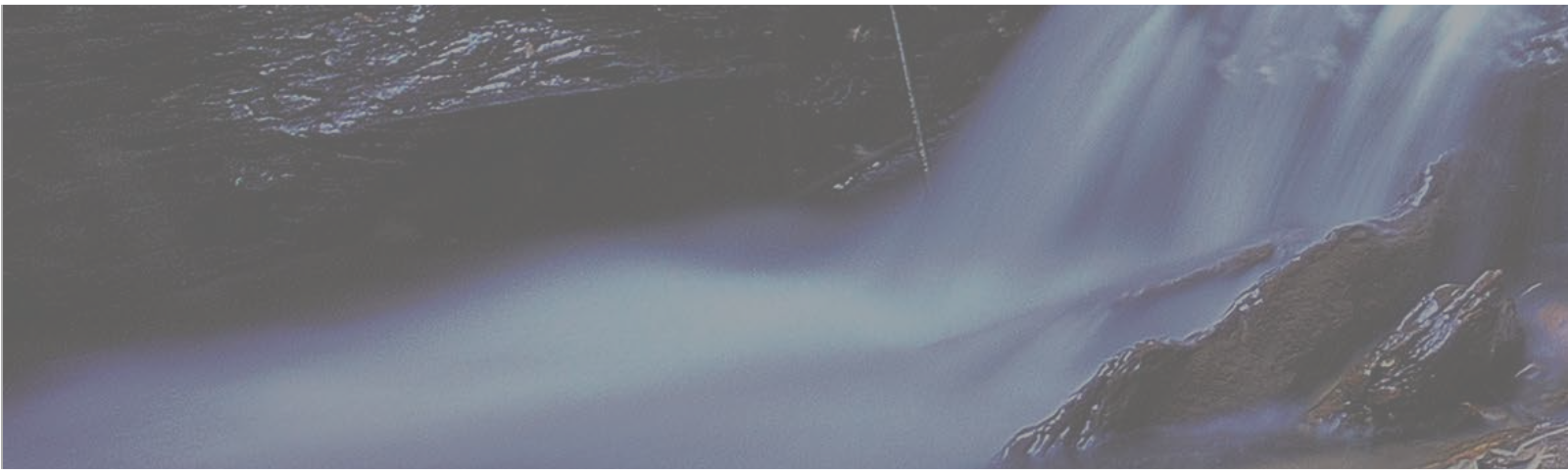
Make noise not art (CC BY-NC-ND 2.0)

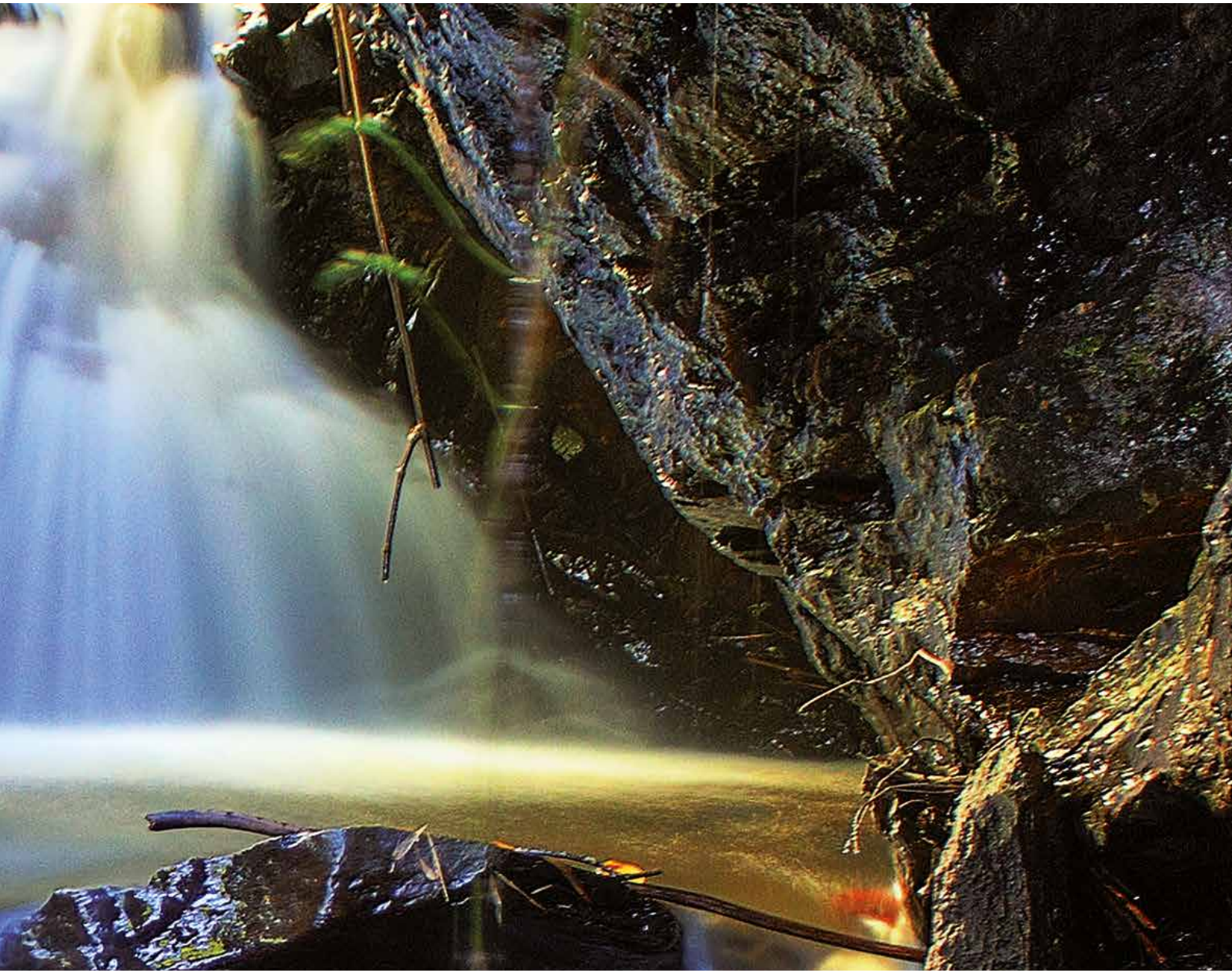


Philippe Thiers (CC BY-NC-SA 2.0)



Tome Morales Pillerit





1 | INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

El lunes 26 de enero de 2015, la Presidenta Michelle Bachelet convocó a la Comisión Asesora Presidencial "Ciencia para el Desarrollo de Chile", la que —al alero del Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID)— tuvo como mandato generar propuestas que permitan que la ciencia, la tecnología y la innovación (CTI) se conviertan en pilares fundamentales del desarrollo del país.

El informe final —entregado en julio del mismo año— plantea como su visión que "a 2030 las capacidades de generar, transferir y aplicar sistemáticamente conocimiento se hayan expandido fuertemente, y sean la base de una economía competitiva, diversificada, ambientalmente sustentable e inclusiva, así como de una sociedad que sea un ejemplo de convivencia cívica y de ejercicio democrático, con crecientes niveles de bienestar bio-sico-social"¹.

En el mismo documento, se plantearon cuatro propuestas de acción, una de las cuales consideró que, parte del incremento de los recursos destinados a promover la actividad científica, tecnológica y de innovación, se oriente en función de desafíos prioritarios para el desarrollo integral del país. Desafíos que, necesariamente, requieren ser abordados desde una perspectiva multidisciplinar.

Acogiendo esta iniciativa, S.E. la Presidenta de la República solicitó al CNID conducir la elaboración de agendas de Investigación, Desarrollo e innovación (I+D+i) en dos áreas prioritarias: Resiliencia frente a Desastres Naturales y Sostenibilidad de los Recursos Hídricos. Ambos desafíos, resultan claves para que el país avance hacia un desarrollo sostenible e inclusivo.

En este contexto nace esta Comisión de I+D+i para la Sostenibilidad de los Recursos Hídricos, la que —al igual de su homónima en Resiliencia ante los Desastres Naturales— fue liderada por miembros del CNID, convocando la participación de diversos actores del mundo científico y tecnológico, de instituciones públicas, del mundo privado y de la sociedad civil.

Mandato de la Comisión de I+D+i para la sostenibilidad de los Recursos Hídricos

El agua es un recurso natural, único, finito e indispensable para todo organismo viviente y para gran parte de las actividades económicas y productivas del ser humano. A pesar de su aparente abundancia, solo un 2,6% del agua es dulce y se encuentra en lagos, ríos, pantanos, glaciares, reservorios subterráneos, la atmósfera y los sistemas biológicos. El fuerte incremento que ha experimentado tanto la población mundial como las actividades productivas, ha generado una demanda creciente por los recursos hídricos. En un contexto marcado por los efectos del cambio climático, hay múltiples regiones que hoy ven amenazadas las posibilidades de asegurar el acceso de agua a la población, o de disponer de ella en cantidad suficiente para sostener las actividades que la sustentan.

En nuestro país este fenómeno nos afecta de manera particular, y sabemos que enfrentamos y seguiremos enfrentando condiciones más difíciles que las que hemos tenido en el pasado.

Las ciencias, el avance tecnológico y la innovación, pueden hacer un aporte insustituible en este reto crucial para Chile, en dominios como el aseguramiento del abastecimiento de agua para la población, la conservación de los ecosistemas y la riqueza de biodiversidad, la comprensión del valor y la relación con el agua de nuestras comunidades, el hacer sustentable nuestra matriz productiva y exportadora.

Los esfuerzos que estamos haciendo en estas materias son muy insuficientes ante la magnitud de los desafíos. Pero, además, como Comisión estamos convencidos que requerimos también dar un sentido y dirección a la actividad que desplegamos actualmente, así como a su necesaria expansión.

Fortalecer la contribución desde la I+D+i a incrementar la disponibilidad sostenible de este recurso vital para el desarrollo de Chile es la gran aspiración de esta Comisión.

1 Un Sueño Compartido para el Futuro de Chile. Informe de la Comisión Asesora Ciencia para el Desarrollo a la Presidenta de la República, Michelle Bachelet, julio 2015.

Orientaciones y forma de trabajo de la Comisión

En la elaboración de esta propuesta buscamos identificar las áreas prioritarias de investigación, desarrollo e innovación que son clave para aportar a la sostenibilidad de los recursos hídricos, reconociendo y dando cuenta de la naturaleza compleja de este desafío, que se expresa, entre otros, en los múltiples usos del agua, los diversos actores que inciden en su gestión y las interrelaciones que se generan entre ellos, los distintos niveles y escalas que se afectan simultáneamente, el valor que representa para diversas culturas y las lógicas de cuidado que derivan.

Por ello, una orientación fundamental del trabajo de nuestra Comisión fue incentivar la convergencia y el aporte que pueden hacer las ciencias físicas, naturales y sociales, el sector público, las empresas y las organizaciones de la sociedad civil.

Pero, al mismo tiempo, quisimos relevar la importancia de reconocer las particularidades de este desafío en los distintos territorios de Chile, fomentando la activa participación de investigadores y actores de regiones, y llevando esta discusión tanto al norte como al sur del país.

Este trabajo se inició en octubre de 2015, involucrando más de cien especialistas del sector público, de centros de investigación y universidades, y de quienes hacen uso de este recurso, tanto para consumo humano, para el desarrollo de actividades productivas y para la mantención de los ecosistemas del país.

Objetivos estratégicos

Para organizar la reflexión, concordamos tres objetivos estratégicos, cada uno de los cuales fue abordado en mesas de trabajo diferenciadas. Estos son:

a) Generar información y conocimiento de base para la sostenibilidad de los recursos hídricos

Esto supone identificar y priorizar la información de base, las tecnologías y procedimientos de su captura y procesamiento, así como el conocimiento fundamental, que permita sostener —de manera permanente— cualquier acción de I+D+i orientada a la sostenibilidad del recurso hídrico. En particular, esto implica, determinar las variables relevantes, así como su comportamiento tendencial en el tiempo y espacio, las áreas de conocimiento que permitan conocer la cantidad y calidad de los recursos hídricos, evaluar el impacto de usos y demandas en términos económicos, sociales y ambientales, y generar modelos de predicción, considerando la ecología del agua y su interrelación con los sistemas productivos y de consumo de humano.

b) Desarrollar y hacer disponible tecnologías para aumentar la oferta y disponibilidad de los recursos hídricos

En este marco, se busca dar cuenta tanto de las posibilidades de desarrollo tecnológico a generar en Chile, como del aprovechamiento y adaptación de tecnologías generadas en el extranjero que puedan ser adoptadas en nuestro país. La búsqueda se centra en aquellos desarrollos que permitan contar con nuevas fuentes de agua, la reutilización del recurso, y aumentar la eficiencia en el uso y distribución del mismo.

c) Generar I+D+i para una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH)

Este objetivo busca identificar el aporte que la ciencia, la tecnología y la innovación pueden hacer a la gestión integrada de los recursos hídricos, particularmente en la comprensión de las distintas formas de relación entre los diferentes actores en los territorios en torno al agua; involucra la identificación de los elementos clave para una gestión sustentable de la cuenca que permita adaptación y resiliencia en escenario de alta incertidumbre climática; y la contribución al desarrollo de una cultura sostenible del agua.



Las áreas que abordamos en estos tres objetivos estratégicos, más allá de sus interrelaciones, presentan características diferenciadas que consideramos ameritaban ser reflejadas y abordadas con mayor profundidad en la Agenda. En efecto, todos ellos buscan instalar y fortalecer las capacidades en ciencia, tecnología e innovación en recursos hídricos, generar espacios vinculantes de inclusión, articulación y coordinación entre la ciencia y los demás actores vinculados a la gestión de los recursos hídricos (vinculación ciencia, empresa y sociedad), e impulsar a través del conocimiento la valorización y el uso sostenible de los recursos hídricos.

El resultado del trabajo de síntesis y de priorización de las propuestas para cada objetivo se presenta en el cuerpo central de este documento. Como documentación anexa se entregan los informes completos del trabajo de cada Subcomisión.

Un Chile sostenible en recursos hídricos: visión y principios orientadores

Concebimos esta agenda como un instrumento que orienta y estimula la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación, aspectos fundamentales para contar con el conocimiento y disponer de las

herramientas tecnológicas que permiten una gestión integral y sostenible del agua.

Para abordar este desafío, en primer lugar, los miembros de la Comisión concordamos una visión sobre la situación a la que aspiramos alcanzar en 2030 en materia de sostenibilidad de nuestros recursos hídricos. Dicha visión es la que orientó nuestro trabajo.

Principios de la Investigación, Desarrollo e Innovación

- I+D+i de excelencia y sensible a los contextos físicos y sociales
- I+D+i una mirada multidimensional que propicia la participación responsable de todos los actores
- I+D+i que comprende e integra las singularidades de nuestros territorios.
- I+D+i que articula y da sustento a las decisiones del Estado en todos los niveles y de la sociedad en sus diversas expresiones.
- I+D+i que incrementa sus capacidades articulando distintos grupos de I+D del país y generando alianzas estratégicas internacionales.
- I+D+i que contribuye al cumplimiento de los compromisos internacionales de sustentabilidad.
- I+D+i que aporta a la comprensión, educación y valoración social del agua.

Visión

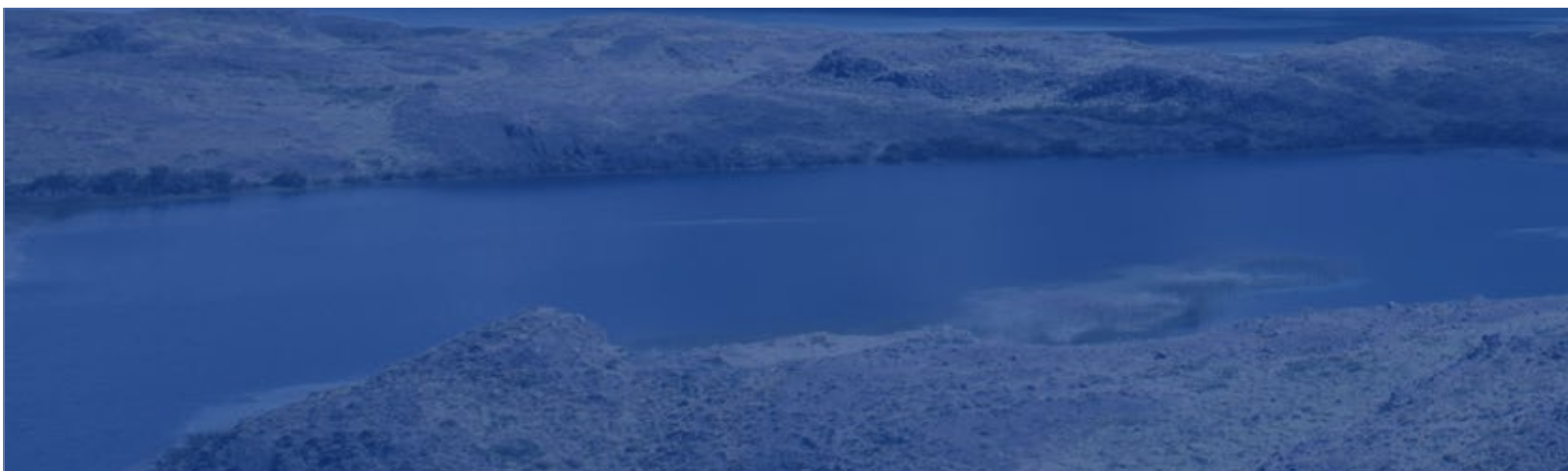
Al llegar a 2030, Chile cuenta con el conocimiento, el desarrollo de las tecnologías y la gestión que le permiten contar con seguridad y disponibilidad de recursos hídricos para el consumo humano, el desarrollo productivo y la mantención del equilibrio de los ecosistemas, y aportando al mundo desde una posición de liderazgo en materia de I+D+i en recursos hídricos.

Nuestra sociedad ha sido educada en una cultura donde el agua es reconocida como un bien eco-social fundamental para el desarrollo sostenible, imprescindible para asegurar la calidad de vida y clave en la seguridad ante desastres de origen natural.

Hemos restaurado el equilibrio hidrológico de las cuencas, asegurando desde el marco institucional y regulatorio, una gestión integrada de los recursos hídricos y un sistema de gobernanza que representa a todos los actores en los distintos territorios de Chile.

En 2030, las ciencias, la tecnología y la innovación cuentan con capital humano e infraestructura que aportan: información confiable y compartida; conocimiento profundo de las cuencas respecto a las aguas superficiales, subterráneas, reutilizadas y las que provengan de nuevas fuentes, con sus demandas asociadas; y un diagnóstico compartido que se actualiza periódicamente y que permite sustentar capacidad de gestión y de adaptación a escenarios complejos incluyendo de manera explícita las dimensiones socioambientales del agua.

Asimismo, acordamos un conjunto de principios que guían la manera en que la ciencia, la tecnología y la innovación pueden realizar un aporte relevante a la gestión integral de los recursos hídricos y su sostenibilidad. Estos principios definen y complementan la visión y los objetivos estratégicos que orientaron nuestro trabajo.





1 | EL DESAFÍO DEL AGUA



CONTEXTO GLOBAL

El aumento de la población mundial y de la producción han generado una creciente demanda por agua. Esta tendencia, combinada con los impactos del calentamiento global y el cambio climático sobre su disponibilidad, han llevado a que el acceso al agua potable sea un desafío que concita creciente preocupación a nivel mundial.

Hace años ya que la disponibilidad y acceso al agua dejaron de verse como recursos dados, al servicio del desarrollo económico, sin consideraciones sobre su sostenibilidad.

Una de las señales más claras del cambio en nuestra comprensión y valoración de los recursos hídricos, se refleja en la creciente importancia que el tema ha ido adquiriendo en las propuestas de Naciones Unidas (ONU), y en la forma en que el tema es abordado.

A principios de este siglo, la ONU planteó los Objetivos de Desarrollo Milenio como una estrategia para defender los principios de dignidad humana, igualdad y equidad, y liberar al mundo de la pobreza extrema a través de medidas y plazos mensurables. En este marco, una de las metas establecidas para 2015, fue reducir a la mitad el porcentaje de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento. Dada la magnitud de la tarea, en diciembre de 2003, la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó, el período 2005-2015 como Decenio Internacional para la Acción «El agua, fuente de vida», el cual comenzó oficialmente el 22 de marzo de 2005, y que a partir de entonces, fue establecido como el Día Mundial del Agua.

Además, en 2010 se reconoció explícitamente el derecho humano al agua y saneamiento, reafirmando que un agua limpia y contar con servicios básicos de saneamiento son esenciales para la realización de todos los Derechos Humanos.

A pesar de estos esfuerzos, según un informe de la Organización Mundial de la Salud y UNICEF, alrededor de 2.400 millones de personas —un tercio de la población mundial— seguía sin tener acceso a un saneamiento básico en 2015.

Ello es indicativo de la dificultad de lograr, incluso en el contexto de riqueza mundial actual, el cumplimiento de un derecho que parece tan básico y fundamental (ONU, 2015)².

Hoy tenemos que reconocer que la preocupación va más allá de entregar agua a la población, que el desafío es procurar un acceso sostenible en el tiempo. Esto obliga a incorporar otras dimensiones en el análisis, particularmente, aquellas que nos permitan entender los recursos hídricos en su dimensión ecosistémica.

Expresión de lo anterior es el surgimiento del término "Seguridad Hídrica" y su creciente uso en declaraciones y acuerdos internacionales.

Esta mirada integral, que da cuenta de las diferentes necesidades y valores que es preciso considerar en nuestra interacción con los recursos hídricos, es la que ha guiado el debate y las propuestas de la comunidad internacional organizada en la última década.

El desafío es procurar un acceso sostenible en el tiempo, y esto obliga a incorporar otras dimensiones en el análisis, particularmente aquellas que nos permitan entender los recursos hídricos en su dimensión ecosistémica.

2 <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

Así, dentro de los objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que constituyen la base de la agenda universal para el desarrollo a 2030, se indica como uno de ellos el garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos, se estructura a través de seis metas a 2030:

1. Lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos.
2. Lograr el acceso universal a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos, y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y niñas y de las personas en situaciones de vulnerabilidad.
3. Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.
4. Aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para

hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.

5. Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.
6. Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.

La preocupación por la situación del agua en el mundo también se ha hecho sentir en la comunidad empresarial. En una encuesta realizada en 2013 a casi 600 grandes compañías globales, el 70% identificó al agua como un riesgo sustantivo para sus negocios y el 64% manifestó que esperaban impactos negativos en los próximos cinco años³.

No es casualidad entonces —y debe ser visto como una señal alentadora— el llamado del Foro Económico Mundial de 2009 de considerar a la "seguridad hídrica" como la red que conecta todos los grandes desafíos (alimentación, energía, clima y desarrollo económico, entre otros) variables que deberá enfrentar la humanidad en las próximas décadas.

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)



3 CDP and Deloitte Consulting LLP, 2013. From Water Management to water stewardship.

SITUACIÓN DEL AGUA EN CHILE

En Chile, dentro del contexto mundial, podemos considerarnos privilegiados en materia de recursos hídricos. La "escorrentía media total", es decir, el volumen de agua procedente de las precipitaciones que escurren por los cauces superficiales y subterráneos equivale a una media de 53.000 m³/persona/año. Este valor es bastante más alto que la media mundial (6.600 m³/persona/año), y muy superior al valor de 2.000 m³/persona/año considerado internacionalmente como umbral para el desarrollo sostenible.

Sin embargo, al analizar su distribución regional, este valor medio enmascara una realidad muy distinta: desde Santiago al norte prevalecen las condiciones áridas, mientras que hacia el sur las precipitaciones se intensifican. Estas diferencias se aprecian de inmediato al comparar el nivel de precipitaciones de tres regiones del país:

- Región de Coquimbo: 83 mm/año de precipitaciones
- Región de Biobío: 1250 mm/año de precipitaciones
- Región de Aysén: 2.500 mm/año de precipitaciones

Directamente relacionadas con estas diferencias en precipitaciones, se encuentran las grandes disparidades en disponibilidad de agua: de Santiago al norte la media de disponibilidad de agua se sitúa por debajo de los 800 m³/persona/año, mientras que al sur de Santiago supera los 10.000 m³/persona/año⁴.

Estas cifras se refieren a promedios obtenidos sobre la base de registros históricos. Sin embargo, en los últimos años, hemos sido testigos de una megasequía que ha afectado a prácticamente todo el territorio⁵. Un síntoma claro es el agotamiento de numerosas fuentes de agua que nutren la red de Agua Potable Rural (APR), entre las regiones de Tarapacá y Los Lagos. Esto ha tenido como consecuencia la organización

de un sistema de abastecimiento basado en camiones aljibe, para atender las severas emergencias de abastecimiento de agua potable a la población, que ha significado un alto y creciente costo para el erario nacional. Con los datos preliminares del año 2016 se han destinado cerca de 43 millones de dólares para financiar estas operaciones, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Gasto en camiones aljibe para el abastecimiento de agua potable en comunidades rurales de Chile (Primer semestre 2016)

REGIÓN	GASTO EN CAMIONES ALJIBE (EN MILES DE PESOS)
Antofagasta	19.689
Coquimbo	3.699.564
Valparaíso	3.310.301
Metropolitana	938.209
O'Higgins	17.992
Maule	3.419.601
Biobío	7.090.754
La Araucanía	4.525.983
Los Ríos	1.096.706
Los Lagos	3.233.877
Aysén	737.910
Total	28.090.592

Fuente: Elaboración propia en base a información del Ministerio del Interior.



4 Banco Mundial, 2011. Diagnóstico de la Gestión de los Recursos Hídricos

5 Centro Ciencia del Clima y la Resiliencia, 2015 El Informe a la Nación «La megasequía 2010-2015: una lección para el futuro»

En la zona sur del país, existe disponibilidad de agua, pero no suficiente infraestructura para su acumulación para las sequías estivales, las que cada vez son más comunes. Muchos de los problemas se podrían resolver poniendo en operación nuevos pozos o profundizando los ya existentes, aunque esto podría atentar contra los frágiles equilibrios hídricos de las aguas subterráneas.

Por otro lado, en el norte la situación es bastante más crítica y en la zona central —donde reside la mayor parte de la población y tiene lugar la mayor parte de las actividades económicas— también la escasez hídrica se está haciendo notar con fuerza. En ambas zonas, la mayor parte del agua superficial ya está asignada y hay claros signos de problemas de sobreexplotación en los acuíferos, pero además, varias cuencas presentan problemas de calidad de agua, lo que introduce un estrés adicional a la situación que ya se vive en esta parte del país.

A este panorama, ya complejo, se suma el que Chile será uno de los países más afectados por el cambio climático, como se constata en diversos estudios, y como se está dejando sentir en múltiples áreas del territorio. Particularmente severos son los efectos en el régimen de lluvias, previéndose una significativa disminución en las precipitaciones. Las mayores temperaturas implican, asimismo, una menor acumulación de nieve en las altas cumbres, lo que genera un impacto adicional en la disponibilidad de agua.

Por otra parte, nuestra matriz productiva —y particularmente nuestras exportaciones— son muy intensivas en el uso de recursos hídricos. Además la mayor parte de ellas se concentra en territorios de escasez hídrica o de alta vulnerabilidad. Según los planes de desarrollo de los diversos sectores productivos, la demanda de agua continuará creciendo de manera importante, especialmente en las zonas ya afectadas por el cambio climático. Esto explica que la industria minera, por ejemplo, esté incrementado fuertemente el uso de agua de mar en sus procesos productivos, para adaptarse a estas nuevas condiciones. Sin embargo, esta solución no es factible para otras actividades económicas, como la agricultura y la fruticultura, que por sí solas explican el 73% del consumo de agua del país.

Comprender el desafío del agua supone considerar —además de las mayores demandas que plantean el crecimiento de la población y de las actividades económicas que ha tenido un incremento de casi tres veces en el consumo de agua en los últimos 25 años y los efectos del cambio climático— el impacto de las alteraciones que hemos introducido en el funcionamiento de los ecosistemas y en el ciclo del agua en diversos territorios, y la falta de conciencia de su valor que tenemos como ciudadanos. Las alteraciones que hemos producido son en algunos casos irreversibles, y tienen efectos no solo en la disponibilidad de agua, sino que también redundan en mayores niveles de riesgo para la población. El aumento de posibilidades de aluviones es un claro y grave ejemplo de ello, y que junto con otras trágicas consecuencias que se hacen cada vez más presentes, podría ser una oportunidad para desarrollar una cultura del agua que nos comprometa a hacernos cargo de este desafío en los distintos espacios de nuestra sociedad.





Una mirada al futuro cercano: demandas hídricas de la agricultura y de la minería a 2030

Como una manera de ayudar a dimensionar el desafío que enfrentamos, en esta sección presentamos los resultados de ejercicios de estimación de requerimientos hídricos para dos de los principales sectores productivos: el sector agrícola y el sector minero.

La estimación de demandas hídricas del **sector agrícola**, se desarrolló con el apoyo de profesionales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA), de la Comisión Nacional de Riego (CNR) y de la Oficina de Estudios y Planificación Agropecuaria (ODEPA) y se detalla en el anexo 1⁶.

En este se consideraron tres escenarios de demandas a 2030: uno sobre la base de una proyección lineal de la superficie bajo riego, otro estimando que esta superficie se incrementa en un 15% y el tercero considerando que se hace uso de la superficie máxima de riego disponible. El incremento previsto en la demanda para cada uno de estos escenarios es de 2.237 hm³, 4.541 hm³ y 14.956 hm³, respectivamente, por sobre el Censo agropecuario 2007 que determina un uso total de agua de 13.129 hm³ (en el anexo se puede ver el detalle por regiones).

Respecto del incremento en la oferta de agua para el mismo período, esta se establece, por una parte, sobre la base del aumento de disponibilidad de aguas que se produciría al implementar el actual plan de construcción de embalses y, por otra, considerando una mejora en la eficiencia del riego de un 5%, mismo incremento que se ha producido entre 1997 y 2007, de acuerdo a los datos de los censos agrícolas respectivos.

Sobre estos cálculos de oferta y demanda proyectadas, se puede estimar que el balance hídrico para el primer escenario tendría un déficit de solo 347 hm³, mientras que el déficit en el segundo sería de 2.651 hm³. Por último, en el tercero —que significaría satisfacer la superficie máxima regable— la demanda hídrica prácticamente duplica las necesidades de agua de 2007, superando los 10.000 hm³ de déficit.

Para abordar estas brechas cabe señalar que, aunque más de la mitad del incremento de demanda estimado en el primer escenario —el más moderado— se puede absorber con mayor eficiencia del riego a nivel predial y extrapredial, los niveles de eficiencia a nivel de cuenca ya son relativamente altos, ya que el agua se está reutilizando entre dos y tres veces.

Otras alternativas para ahorrar agua varían según el cultivo y la región, abarcando soluciones como el uso de *mulch*, cortinas cortavientos u otro tipo de cubiertas. A largo plazo, si el costo de la desalación baja significativamente al hacer uso de energía de generación fotovoltaica, se puede pensar en incorporar al riego alrededor 260.000 hectáreas con buen clima y pendiente suave en el norte (suelos clase 1 a 4).

En este diseño de escenarios, es necesario considerar que en el horizonte establecido no se manifiestan, a una escala macro, los efectos del cambio climático.

Una proyección a más largo plazo que el 2030, supondría considerar estos efectos (por ejemplo sobre la base del estudio de ODEPA-CNR⁷) en una nueva distribución de cultivos por región y en la variación en sus tasas de riego. Esto también afectaría las posibilidades de mejoras a nivel de la eficiencia de riego a nivel predial y el efecto de la evapotranspiración.

6 Ver Anexo 1 de la Agenda, Estimación de la demanda de recursos hídricos por parte del sector agropecuario al 2030 CNR-ODEPA, julio 2016.

7 Cochilco, 2016, Proyección del consumo de agua en la minería del cobre al 2016.



Respecto de las demandas hídricas en el **sector de la minería**, Cochilco entrega una estimación anual del consumo esperado de agua en las operaciones y proyectos que se desarrollan en el país. Esta proyección a diez años, se basa en tres pilares: (1) los consumos unitarios de cada faena en cada proceso, (2) los perfiles de producción máxima determinados a través del catastro de inversiones mineras, y (3) la probabilidad de materialización de tal cartera en virtud de los antecedentes históricos. La combinación de los antecedentes previamente mencionados a través de una simulación estocástica permite obtener el valor esperado del consumo de agua. Para este informe, Cochilco estimó las proyecciones de consumo del agua en la minería del cobre a 2030, teniendo presente que con este horizonte no se pueden incorporar nuevos proyectos que hoy no estén considerados.

Los resultados entregados indican que el consumo de agua fresca hacia 2030 tendería a disminuir en una tasa anual de un 1,5% respecto de lo estimado a 2016. Y en el caso de agua de mar, habría una tasa de consumo creciente a razón de un aumento de 6,6%.

Así, a 2030, según las proyecciones entregadas por Cochilco, el consumo de agua fresca alcanzaría los 10,4 m³/s, lo cual casi se igualaría al uso de agua de mar de 9,3 m³/s (con un 60% explicado por proyectos en condición base o probable).

A nivel regional, Antofagasta sería la de mayor crecimiento en el caudal de consumo de agua de mar, reduciendo consistentemente su participación de consumo nacional de agua fresca por faenas mineras, desde un 36% en 2016 a un 10% en 2030. Estas proyecciones integran tanto el uso directo de agua de mar, como el uso de agua desalada y suponen una disminución de los costos de desalación, en los que incide fuertemente el precio de la energía.

Los ejercicios de proyección en ambos sectores muestran como la posibilidad de satisfacer las demandas hídricas en los próximos años, descansan en el uso de tecnologías, corroborando la relevancia estratégica de este Informe de I+D+i.

Finalmente, una estimación de demandas futuras de agua para el **sector sanitario** —considerando la producción de 27 empresas del sector— permite estimar una tasa de crecimiento anual cercana al 1%, sobre la base de los incrementos entre 2012 y 2014.





2

CIENCIA E INNOVACIÓN
PARA LA SOSTENIBILIDAD DE
LOS RECURSOS HÍDRICOS





CIENCIA E INNOVACIÓN PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

La Agenda de I+D+i para la Sostenibilidad de los Recursos Hídricos responde a la Visión y los principios planteados y se construye a partir de una síntesis e integración de las propuestas de las subcomisiones en torno a los tres objetivos estratégicos trazados. Dicha síntesis ha priorizado considerando, por un lado, las áreas más relevantes para los desafíos de nuestro país en sus distintos territorios, y por otro aquellas donde existen las mayores brechas de conocimiento o las más urgentes de abordar. Estas áreas, son un conjunto integrado de propuestas que hemos denominado **Líneas Estratégicas**.

Sin embargo, y en esto coincidieron todas las subcomisiones, el desarrollo de la I+D+i en Chile en cualquier área requiere que existan ciertas condiciones transversales de base. Por ello se han integrado en la Agenda propuestas surgidas de las subcomisiones que permiten hacerse cargo de un conjunto de **Condiciones Habilitantes**, que constituyen requisitos para la materialización de las propuestas aquí planteadas y aportan al desarrollo de la I+D+i en general.

Finalmente, y como parte del trabajo de la Comisión y del CNID, hemos asumido el desafío de impulsar **iniciativas** que están **en curso**, y que forman parte de las propuestas planteadas para abordar las Condiciones Habilitantes que se han definido. Estamos convencidos que abordarlas desde ya, no solo nos permite avanzar en la implementación de la Agenda, sino que además da cuenta del compromiso de los distintos actores involucrados en su construcción y nos corrobora la relevancia y la potencia que tienen estos espacios donde, desde distintos roles y perspectivas, aportamos a los desafíos que nos importan como país.

La tabla 2 permite visualizar los elementos que conforman este Informe.

Tabla 2: Resumen de los elementos del Informe Ciencia e Innovación para los desafíos del agua en Chile

VISIÓN	Al llegar a 2030, Chile cuenta con el conocimiento, el desarrollo de las tecnologías y la gestión que le permitan contar con seguridad y disponibilidad de recursos hídricos para el consumo humano, desarrollo productivo y ecosistemas, y aportando al mundo desde una posición de liderazgo en materia de I+D+i en recursos hídricos.			
VALORES	<ul style="list-style-type: none"> • Una I+D+i de excelencia y sensible a los contextos físicos y sociales. • Una I+D+i con una mirada multidimensional que propicia la participación responsable de todos los actores. • Una I+D+i que comprende e integra las singularidades de nuestros territorios. • Una I+D+i que se articula y da sustento a las decisiones del Estado en todos los niveles y de la sociedad en sus diversas expresiones. • Una I+D+i que incrementa sus capacidades articulando distintos grupos de I+D del país y generando alianzas estratégicas internacionales. • Una I+D+i que contribuye a la implementación de los compromisos internacionales de sustentabilidad. • Una I+D+i que aporta a la comprensión y valoración social del agua. 			
OBJETIVOS ESTRATÉGICOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Generar información y conocimiento de base para la sostenibilidad de los recursos hídricos 2. Desarrollar y hacer disponible tecnologías para aumentar la oferta y disponibilidad de los recursos hídricos 3. Generar I+D+i para una gestión integrada de los recursos hídricos 			
CONDICIONES HABILITANTES	A. Información y conocimiento de base en recursos hídricos	<ul style="list-style-type: none"> • Integración sistemas de información de variables hidrológicas • Interoperabilidad de plataformas de información públicas • Sistemas de medición de extracciones • Desarrollo de mapas hidrológicos 		
	B. Fortalecimiento de capacidades de I+D+i y de su organización	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de capacidades para investigación tecnológica • Desarrollo de capacidades en ciencias sociales y humanidades • Desarrollo de capacidades regionales • Coordinación de la inversión y uso de equipamiento y redes • Fortalecimiento de las capacidades del sector público para el aprovechamiento de la I+D+i en recursos hídricos 		
	C. Un nuevo marco para la materialización de la Agenda	<ul style="list-style-type: none"> • Creación de instancias de coordinación de la I+D+i en recursos hídricos • Creación de instancias de coordinación de las instituciones públicas que se vinculan con la gestión de los recursos hídricos y pueden aprovechar la I+D+i generada 		
	D. Aporte al desarrollo de una Cultura Sostenible del Agua	<ul style="list-style-type: none"> • Generar instancias de colaboración ciencia-escuela que favorezcan el desarrollo de una cultura sostenible del agua en los niños, niñas y jóvenes del país • Generar instancias de colaboración ciencia-sociedad que favorezcan el desarrollo de una cultura sostenible del agua en nuestras comunidades 		
LÍNEAS ESTRATÉGICAS	1. Programas de I+D+i para la comprensión de los procesos hidrológicos, en relación a:	2. I+D+i para la Gestión Integral de los Recursos Hídricos, con foco en:	3. I+D+i para la comprensión de la relación agua ecosistema, con foco en:	4. Desarrollo tecnológico para la Sostenibilidad de los Recursos Hídricos
	<ol style="list-style-type: none"> 1.1 Gestión de aguas superficiales y subterráneas considerando singularidades territoriales del país 1.2 Hidrología de montañas 1.3 Hidrología de zonas áridas 1.4 Meteorología y climatología 	<ol style="list-style-type: none"> 2.1 Mejoras en la gobernanza del agua 2.2 Desarrollo de plataformas de coordinación local 2.3 Fortalecimiento de capacidades en las OUA 2.4 Conformación de mesas macro regionales CTI para GIRH 	<ol style="list-style-type: none"> 3.1 Indicadores biológicos para evaluación de la calidad del agua e identificación de fuentes contaminantes 3.2 Caudales ecológicos y caracterización de usos ambientales 3.3 Procesos hidrobiológicos de sistemas acuáticos 3.4 Estado ecológico de ecosistemas acuáticos continentales frágiles y vulnerables 3.5 Restauración dinámica de cauces y servicios ecosistémicos 	<ol style="list-style-type: none"> 4.1 Interoperabilidad de plataformas de información públicas 4.2 Plataformas para control de extracciones 4.3 Tecnología remota para requerimientos hídricos principales cultivos 4.4 Desarrollo de procesos secos para la minería 4.5 Plataformas para información y modelación a nivel de cuencas 4.6 Gestión de aguas lluvia e Infraestructura verde en ciudades
INICIATIVAS EN CURSO	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de la calidad de la información y aumento de la cobertura de la Red Hidrométrica Nacional en alianza con otras instituciones públicas • Determinación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos en las diferentes zonas agroecológicas de Chile • Conformación de la Red Nacional de Investigación en Recursos Hídricos • Desarrollo de una cultura del agua en el mundo escolar a través de la CTI • Constitución del Comité de Orientaciones Estratégicas para la Investigación en Agua 			

I. CONDICIONES HABILITANTES

Las necesidades que Chile tiene en materia de I+D+i en materia de recursos hídricos son amplias. Ellas se dejan sentir en ámbitos tan variados como el conocimiento de base de los recursos y su dinámica; el desarrollo y adaptación de tecnologías adecuadas para mejorar la eficiencia con que utilizamos el recurso o que permitan incrementar su disponibilidad; respecto de las formas en que se puede regular su uso; así como también sobre la manera en que los actores comprenden, se organizan e interactúan al nivel territorial para gestionar el recurso. Un objetivo central del trabajo de esta Comisión es precisamente identificar estas necesidades y proponer una forma de organizar nuestros esfuerzos a fin de que la I+D+i que realicemos contribuya a avanzar en el cumplimiento de la visión que nos guía.

Así, durante el trabajo de la Comisión fueron surgiendo elementos que son condiciones transversales necesarias para que las propuestas de I+D+i puedan materializarse y sostenerse en el tiempo. Las hemos definido como Condiciones Habilitantes, pues ellas definen una base indispensable para poder concretar esta agenda. Representan necesidades que son transversales a las acciones que se propone desplegar y en ese sentido constituyen prioridades en sí mismas.

La Comisión distinguió cuatro ámbitos de Condiciones Habilitantes fundamentales. Estas se refieren a (i) La capacidad de capturar, procesar y hacer disponible información de base relevante sobre los recursos hídricos y los factores que inciden en su sustentabilidad; (ii) el incremento y la organización de nuestras capacidades para desarrollar I+D+i, particularmente en lo que se refiere a los recursos humanos calificados; (iii) un arreglo institucional que permita sostener el esfuerzo que requiere materializar la Agenda propuesta; y (iv) el aporte al desarrollo de una cultura sostenible del Agua.

1. Información y conocimiento de base en recursos hídricos

Disponer de información y conocimiento de base sobre nuestros recursos hídricos es una condición indispensable para desarrollar y orientar los esfuerzos de I+D+i, asegurar su excelencia, y sustentar una buena gestión del agua a nivel local, regional y nacional. Es por ello que esta condición es, en sí misma, una prioridad para los esfuerzos que debemos desarrollar en materia de investigación. Pero, al mismo tiempo, el ampliar la captura de datos, el perfeccionar su procesamiento, y el asegurar su calidad, son acciones requeridas para elevar la excelencia y la pertinencia de nuestra I+D+i.

Muchas veces la información existe, pero se encuentra dispersa y los estudios tienen escasa o nula articulación. Esto no permite la obtención de conclusiones integrales respecto del estado hídrico de las 101 cuencas de nuestro país.

Múltiples diagnósticos internacionales⁸ y nacionales⁹, así como investigadores, han señalado esta preocupación. Por lo mismo, en las Subcomisiones y en la propia Comisión, se hizo evidente la necesidad de contar con una base de información confiable, la que solo puede ser provista o asegurada desde el sector público.

Es necesario señalar que, a pesar que muchas veces la información existe, esta se encuentra dispersa y los estudios tienen escasa o nula articulación. Todo esto no permite la obtención de conclusiones integrales respecto del estado hídrico de las 101 cuencas de nuestro país.

Así, contar con información disponible, confiable e integrada de distintas fuentes, se consideró una condición habilitante fundamental para apoyar la gestión de los recursos hídricos, la generación de I+D+i y por último, la sostenibilidad de los recursos hídricos.

⁸ Banco Mundial, 2015, Estudio para el mejoramiento para la gestión del agua; OECD, 2016, Evaluación de desempeño ambiental Chile.

⁹ Agua y Medio Ambiente 2014. Política de Recursos Hídricos, 2015.

La aspiración que debiera guiar las acciones que se desplieguen en este ámbito deben apuntar a lograr que hacia el año 2030, Chile cuente con una red hidrométrica robusta en todas sus variables hidrometeorológicas e hidrogeológicas, que integre indicadores biológicos que permitan evaluar la sostenibilidad de los ecosistemas y que propicie que la información recabada por las diferentes agencias públicas esté integrada en una plataforma con datos accesibles, actualizados y confiables para todos los actores que gestionan el agua. Esta plataforma debe ser complementada en su información con las capacidades de los usuarios de generar antecedentes y conocimiento y coordinada con los niveles locales (cuenca) para la GIRH.

Para el logro de estos objetivos, consideramos como prioritarias y urgentes las siguientes iniciativas:

1. Integración de las diferentes fuentes de información sobre variables hidrológicas.
2. Priorización del esfuerzo para la obtención de información meteorológica de altura y además fortalecer la red de medición de nieves.
3. Desarrollo de la interoperabilidad de las plataformas de sistemas de información operados por las distintas instituciones del estado.
4. Establecimiento de sistemas de medición de extracciones de aguas superficiales y subterráneas.
5. Desarrollo de mapas hidrogeológicos de Chile con énfasis en la recarga de acuífero, cuantificación, dinámica y calidad química de las aguas.

2. Fortalecimiento de capacidades de I+D+i y de su organización

A fin de tener una mejor comprensión sobre nuestra situación de partida, así como identificar el nivel y foco de esfuerzos a realizar en este ámbito, el CNID encargó un estudio para caracterizar las capacidades actualmente disponibles en Chile para realizar I+D+i¹⁰, que apoyara el trabajo de la Comisión (ver recuadro Situación base de I+D+i en Recursos Hídricos).

Los principales hallazgos muestran que contamos con 686 personal dedicado a la investigación en el área de recursos hídricos, entendiéndose así al personal dedicado a utilizar y generar conocimiento. De estos 221 son investigadores con publicaciones en revistas de corriente principal. Un 83% de estos profesionales tiene como afiliación principal el mundo académico.

Respecto a la formación de recursos humanos en temáticas vinculadas al agua, se identificaron 244 programas que ofrecen al menos un ramo relacionado al área, brindados por 45 instituciones públicas y privadas, que abarcan bachilleratos, licenciaturas, títulos profesionales, diplomados, maestrías y doctorados, que al menos tienen una asignatura relacionada con los recursos hídricos. Las universidades que ofrecen la mayor cantidad de este tipo de programas son la Universidad de Chile (26 programas), la Universidad de Concepción (20), la Pontificia Universidad Católica de Chile (14), la Universidad Técnica Federico Santa María (13) y la Universidad de Santiago (13). Según los antecedentes recopilados y los datos disponibles del Programa Becas Chile, los profesionales en especialización en áreas relacionadas con los recursos hídricos se estiman en 134.

Las capacidades científicas, que se estiman a través de la producción científica de los expertos identificados y los programas académicos relacionados, resulta en un total de 539 publicaciones ISI durante el periodo 2010-2015, las cuales fueron realizadas por 179 investigadores en 16 líneas de investigación, concentrado en las ciencias naturales.

Respecto a las capacidades tecnológicas, que se refiere a recursos físicos, tales como; laboratorios, instrumentación, estaciones de monitoreo, sistemas de información, entre otros, se identificaron 72 entidades que poseen capacidades tecnológicas habilitantes para el estudio de los recursos hídricos, que se distribuyen en 114 unidades. De estas unidades 72 están asociadas a universidades (48 a universidades públicas y 21 a universidades privadas), 15 pertenecen a organismos gubernamentales y 27 son de empresas o centros de investigación privados.

10 Esta sección se basa en el estudio encargado por CNID, a CameronPartners: Estudio de Capacidades de Investigación Desarrollo e Innovación en Recursos Hídricos de Chile, 2016.

Situación base de I+D+i en recursos hídricos en Chile

Las capacidades de I+D+i descansan en los actores que participan del sistema de ciencia, tecnología e innovación, y los recursos de los que disponen. Sobre la base de su actividad es que se genera el conocimiento científico, el desarrollo tecnológico y las innovaciones en general –es decir, no sólo aquellas de base científica o tecnológica– que aplican para el beneficio de los actores del sistema, de la economía y la sociedad en su conjunto.

El estudio citado permitió identificar 27 entidades que realizan actividades de investigación y/o desarrollo en el área de los recursos hídricos en Chile y que tienen publicaciones en revistas de corriente principal. De éstas, el 74% corresponde a universidades; el resto a centros de investigación con financiamiento público y privado que funcionan de manera autónoma (es decir, que no dependen exclusivamente de una universidad). Los centros autónomos son particularmente importantes en regiones y, de hecho, varios de ellos surgieron al amparo del programa de apoyo a la constitución de centros regionales desarrollado por Conicyt desde inicios de los años 2000.

Se estima que existen 686 especialistas trabajando en el área de los recursos hídricos. De estos 221 son académicos con publicaciones en revistas de corriente principal (32%). La distribución de estos profesionales, según el ámbito al que pertenece la entidad de su afiliación principal, muestra que un 83% de ellos se

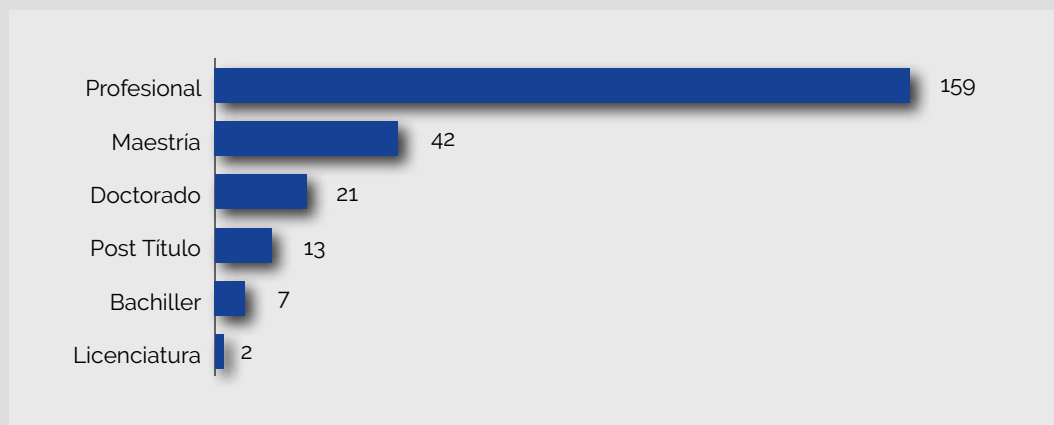
desempeña principalmente en el mundo académico, 10% en empresas y 5% pertenece a organismos de gobierno, y un 2% se desempeña en otro tipo de entidades. Del total de actores, más del 80% se concentra en cinco regiones del país: Metropolitana, Biobío, Los Ríos, Maule y La Araucanía. La Región Metropolitana concentra la totalidad de los actores identificados en el ámbito de Gobierno, el 80% de los actores identificados en el ámbito empresas y el 50% de los actores clasificados en la categoría "otros". Su participación en el ámbito académico es relativamente más reducida, pues concentra el 39% de los investigadores, lo que da cuenta de una mejor distribución de capacidades en este dominio.

Formación de recursos humanos en recursos hídricos

Para disponer de un panorama respecto a la formación de recursos humanos especializados en Recursos Hídricos, se efectuó un levantamiento de los programas existentes en los distintos niveles de formación, incluyendo la formación de chilenos en el exterior, a través de Becas Chile.

En relación a la formación nacional de profesionales, se identificó un total de 244 programas, ofrecidos por 45 universidades públicas y privadas, que abarcan bachilleraros, licenciaturas, títulos profesionales, diplomados, maestrías y doctorados, las cuales poseen al menos una asignatura relacionada con recursos hídricos (ver Figura N° 1)

Figura 1. Distribución del total de programas académicos relacionados con recursos hídricos, por categoría



Fuente: Estudio de Capacidades de I+D+i en Recursos Hídricos de Chile, 2016.

* Se refiere a programas académicos con al menos una asignatura en recursos hídricos

Las universidades que ofrecen la mayor cantidad de este tipo de programas son la Universidad de Chile (26 programas), la Universidad de Concepción (20), la Pontificia Universidad Católica de Chile (14), la Universidad Técnica Federico Santa María (13) y la Universidad de Santiago (13).

Con respecto a las maestrías identificadas como relevantes con relación a los recursos hídricos, un total de 20 instituciones imparten este tipo de programas, aunque la gran mayoría de estas (doce) solo imparten un programa de maestrías relacionado. Dentro de las diez principales instituciones que imparten este tipo de programas (representando un 71% de los máster), la institución académica que más destaca es la Universidad de Chile, con un total de nueve programas de maestría, seguida por la Universidad de Concepción (5), la Universidad de Santiago (5) y la Pontificia Universidad Católica de Chile (3).

En el caso de los doctorados, las tres principales instituciones son la Universidad de Chile, con un total de tres programas, la Pontificia Universidad Católica de Chile y la Universidad de Concepción con un total de dos programas cada una. De este modo, las capacidades de formación de capital humano avanzado para el estudio de los recursos hídricos y temas relacionados, se encuentran bastante concentradas en tres universidades del país, las que acumulan el 54 % del total de programas identificados a nivel nacional.

Respecto a su distribución en las distintas regiones del país, se constata que las capacidades de formación se encuentran concentradas en la zona centro y en la zona sur del país, específicamente en tres regiones (Metropolitana, Valparaíso y Biobío), las que

concentran un 69% sobre el total de programas académicos identificados.

Finalmente, sobre la base de datos disponible del programa Becas Chile, se estima que existen 134 profesionales en especialización en temas directamente relacionados con los recursos hídricos, de los cuales 102 son estudiantes de doctorado (76%), mientras que los 32 restantes son de máster (24%).

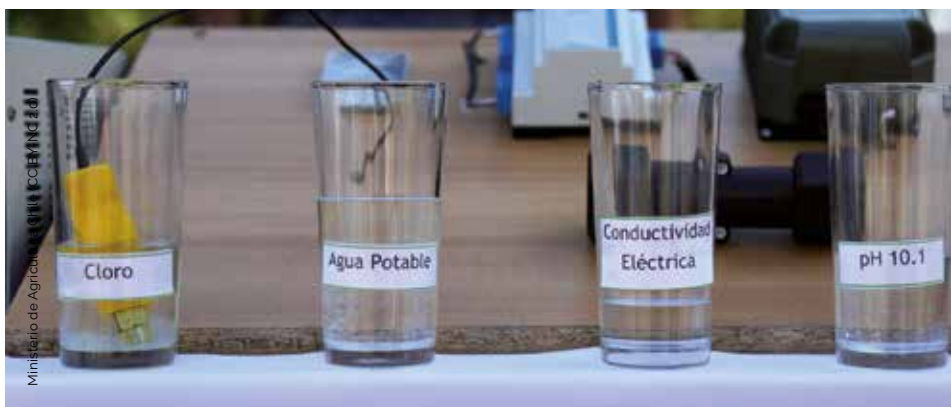
Capacidades científicas

Respecto de las capacidades científicas, éstas se estiman a través de la producción científica de los investigadores identificados. Para caracterizarlas, se partió por identificar la producción científica de los actores en revistas de corriente principal, a través de un análisis bibliométrico en dos bases de datos bibliográficos de prestigio internacional: Scopus y Web of Science.

El total de publicaciones ISI durante el periodo 2010-2015 fue de 539, las cuales fueron realizadas por 179 investigadores. Ellas se concentran en 17 líneas de investigación principales**, correspondiendo al 81% del total de las líneas de trabajo de los investigadores nacionales.

Ciencias naturales es el campo que concentra la mayor parte de las líneas de investigación principal, con un 60% (en total 108 investigadores), lo cual habla del alto nivel de concentración que existe en este campo de la ciencia a nivel nacional. A continuación, están las ciencias tecnológicas con un 19% de las líneas de investigación (34 investigadores), y las ciencias agronómicas con un 17% sobre el total de líneas de investigación (32 investigadores). Finalmente se en-

** Dentro de las líneas de investigación principales, consideramos: Hidrología, Investigación ambiental, Ingeniería agraria, Geología, Minerarología, Biología marina, Química, Meteorología, Geoecología, Geografía física, Ingeniería forestal, Ingeniería civil, Química del medio ambiente, Física, Oceanografía, Geografía aplicada y Ciencias sociales.



cuentran las ciencias sociales con una participación del 2% sobre el total (4 investigadores). De esta forma, el estudio de los recursos hídricos en Chile se enfoca principalmente en la comprensión del fenómeno físico, su relación con el medio ambiente, así como su uso y gestión, mientras que la comprensión de su interacción con el medio social y cultural es marginal.

Capacidades tecnológicas

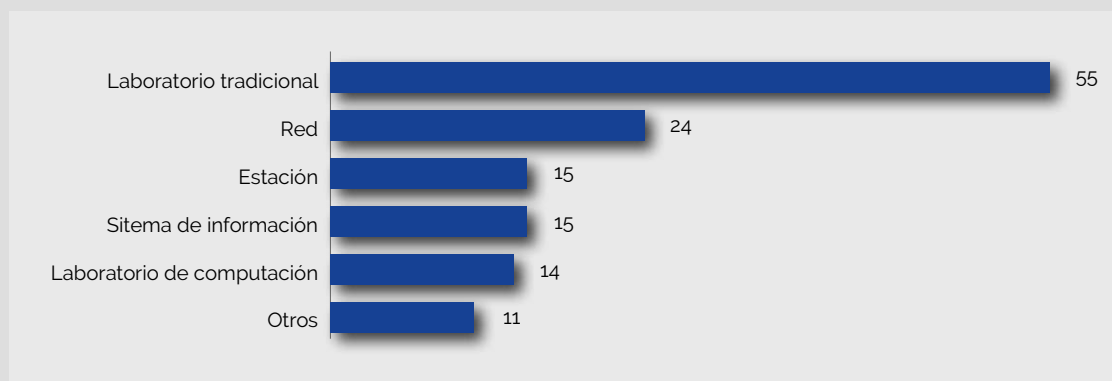
Respecto de las capacidades tecnológicas, estas corresponden a capacidades en el sentido de recursos físicos (laboratorios, instrumentación, sistemas de información, etc.) con que disponen los actores institucionales del sistema, y que habilitan para realizar actividades de investigación científica, desarrollo tecnológico y/o innovación en materia de recursos hídricos.

Para identificar estas capacidades se buscaron determinados bienes de capital con que disponen los acto-

res del sistema: i) redes y estaciones para monitorear y/o analizar variables de interés en terreno, ii) laboratorios tradicionales (análisis, experimentación, medición y calibración, control de calidad, pruebas, etc.) y iii) laboratorios de computación. En este contexto, las redes de monitoreo y/o análisis se conforman por grupos de más de 3 estaciones pertenecientes a una misma entidad y/o a una agrupación de entidades.

En cuanto a las unidades que cuentan con capacidades tecnológicas, de las 114 unidades identificadas, 72 corresponden a unidades asociadas a universidades (48 a universidades públicas y 24 a universidades privadas), quince pertenecen a organismos gubernamentales y 27 son de empresas o centros de investigación privados. En la figura 2 se muestra el detalle del tipo de unidades identificadas.

Figura 2. Cantidad de capacidades tecnológicas (recursos físicos) encontradas en el país



Fuente: Estudio de Capacidades de I+D+i en Recursos Hídricos de Chile, 2016.

En cuanto al equipamiento científico distribuido para el estudio de los recursos hídricos, la Figura 3 muestra el detalle de las estaciones de monitoreo que pertenecen a una red. Finalmente, cabe indicar que hay seis regiones que cuentan con 100 o más estaciones meteorológicas: la región de Coquimbo (149), la región de Valparaíso (123), la región del Biobío (122), la región del Maule (114), la región de Magallanes (113) y la región Metropolitana (100). Contrariamente, las regiones con menor cantidad de estaciones meteorológicas son la región de Arica y Parinacota (50) y la región de Los Ríos (39).

* Dentro de las líneas de investigación principales, consideramos: Hidrología, Investigación ambiental, Ingeniería agraria, Geología, Minerarología, Biología marina, Química, Meteorología, Geoecología, Geografía física, Ingeniería forestal, Ingeniería civil, Química del medio ambiente, Física, Oceanografía, Geografía aplicada, Ciencias sociales.

Propuestas para fortalecer capacidades de base de I+D+i en recursos hídricos

El diagnóstico efectuado indica que el área de recursos hídricos se ha ido beneficiando del aporte de un contingente importante de investigadores (entendidos como personas dedicadas mayoritariamente a actividades de I+D+i), si lo comparamos con la minería, en que se cuenta con solo cerca de 300 investigadores. Sin embargo, esa cifra sigue siendo pequeña a nivel internacional. Tal como se planteó en el informe de la Comisión presidencial de Ciencia para el Desarrollo, Chile debe elevar sustancialmente la cantidad de actores que generan y usan sistemáticamente conocimiento, pues contamos con una porción ínfima de ellos en comparación con los países de la OCDE tanto hoy, como cuando ellos tenían el mismo nivel de ingreso per cápita que tiene Chile actualmente. El área de recursos hídricos es un ámbito especialmente importante para el país, de modo que es un espacio que debe privilegiarse para incrementar dicho esfuerzo. Sin embargo, la Comisión plantea que los focos de atención prioritarios son aquellas capacidades asociadas al desarrollo de las áreas de que se estimaron prioritarias en los Lineamientos Estratégicos y que presentan las mayores brechas de acuerdo a los resultados de este mapeo de capacidades. Así, se recomiendan los siguientes focos de orientación.

a) Desarrollo de capacidades para investigación tecnológica

El análisis de capacidades evidenció como un déficit fundamental la baja presencia de capacidades científicas vinculadas a los retos tecnológicos vinculados al manejo y disponibilidad de recursos hídricos. Esta falencia es grave ya que muchos de estos retos están asociadas a nuestras particularidades como país e incluso a nivel de territorios, lo que nos impide suponer que la simple importación de tecnología podrá resolver problemas que enfrentamos en varios frentes. Pero además, la misma opción de importar tecnologías requiere de conocimiento especializado, desde la labor de selección de tecnologías y claramente, en las de adaptación de estas a condiciones locales.

El ámbito de los recursos hídricos se debe incentivar como espacio de realización de tesis doctorales, así como de especialización por parte de Becas Chile, en general. Pero es preciso también fortalecer las instalaciones de investigación y testeo de tecnologías, en vínculo directo con las necesidades que surgen en los territorios y en las diversas actividades productivas que en ellos tienen lugar.

b) Desarrollo de capacidades en ciencias sociales y humanidades

Si bien el estudio da cuenta de la emergencia de la problemática de recursos hídricos en el área de ciencias sociales, se trata aún de niveles muy insuficientes respecto la envergadura de las necesidades que en este campo se han detectado en el trabajo de la Comisión. Las distintas disciplinas de las ciencias sociales y humanidades tienen un rol muy relevante que jugar en el desarrollo de investigaciones y estudios relacionados por ejemplo, al abordaje de conflictos sociales asociados al recurso hídrico, a la relación que este tiene con el desarrollo humano del país y a la comprensión de aspectos sustantivos como la cosmovisión del recurso hídrico por distintas comunidades. Hoy, estas áreas siguen estando subdesarrolladas en comparación con las ciencias naturales. De hecho, en el mapeo de capacidades como principal línea de investigación encontramos solo a las ciencias sociales en tanto categoría general, y no como disciplinas específicas, lo que muestra que esta mayor especialización es donde se identifica la brecha principal con respecto a las líneas de investigación dentro del abordaje del recurso hídrico.





c) Desarrollo de capacidades regionales para la I+D+i en recursos hídricos

Un rasgo interesante de la distribución de capacidades de investigación y desarrollo en recursos hídricos es la importante presencia de centros interdisciplinarios con asiento regional. Esto revela la importancia que las regiones otorgan al tema en cuestión, así como es también una demostración del avance que hemos tenido en generar investigación de alto nivel y pertinencia fuera de Santiago, objetivo muchas veces declarado en el mundo de las CTI. Sin embargo, sigue siendo un rasgo notorio la concentración en la Región Metropolitana de las capacidades para formar doctorados. Más aún, se aprecia que en la zona norte hay un importante vacío en este ámbito. Así, promover la creación de programas de doctorado en regiones, y particularmente en la zona norte, debiera ser una línea prioritaria de acción, en la que converjan en esfuerzos colectivos las casas académicas regionales y los propios centros de investigación regionales. Junto con fortalecer las capacidades regionales, esto también ayudaría a alinear más aún las investigaciones con temáticas relevantes a nivel de los territorios que en torno a los recursos hídricos manifiestan fuertes singularidades.

d) Coordinación de la inversión y uso de equipamiento y redes

El levantamiento de capacidades tecnológicas arroja la presencia de una cantidad importante de redes de medición, y en menor medida de equipamiento de investigación. Consideramos que disponer de equipos y de información es fundamental para desarrollar investigación y desarrollo de calidad. Sin duda que el avance de las actividades de I+D+i requiere de generar las inversiones complementarias en equipos y redes de medición, convicción que también surgió con fuerza en el trabajo de las subcomisiones. Sin embargo, este esfuerzo debe ir de la mano de una mayor disposición a colaborar entre los centros, universidades e investigadores y a compartir el uso de las facilidades.

Existen indicios claros de que esa no es la situación prevaleciente. Por el contrario, las señales recogidas durante la elaboración de este informe apuntan en la dirección de una fuerte atomización y falta de coordinación entre los actores del sistema. Como exponemos más adelante, uno de los logros del funcionamiento de la Comisión ha sido precisamente el haber servido como espacio inicial de articulación y coordinación de los distintos agentes relevantes, tanto a nivel del sector público como de la academia y el sector privado. Estos pasos iniciales deben consolidarse y mantenerse, y una forma concreta de avanzar en esa dirección es la de asegurar que las asignaciones de equipamiento y de inversión en instalaciones para I+D+i, de cierta envergadura, sean puestas a disposición de la mayor cantidad de agentes posible. Tanto Conicyt como Corfo han estado actuando en esta dirección en varios casos, pero también los gobiernos regionales deben seguir ese camino.

e) Fortalecimiento de las capacidades del sector público para el aprovechamiento de la I+D+i en recursos hídricos

Si las instituciones del sector público no disponen de personal con formación avanzada, difícilmente pueden incorporar en sus decisiones de política o de inversión los adelantos que surgen desde las actividades de I+D+i. Este es un déficit que está presente en muchos ministerios y servicios y no es privativo de aquellas entidades que tienen relación con los recursos hídricos. Pero, si el país incrementa los niveles de investigación en este campo, es preciso que desde la contraparte pública existe la capacidad de absorber los resultados de ese mayor esfuerzo. Los antecedentes aportados por el estudio de capacidades de investigación en recursos hídricos indican que hay una muy baja presencia de dichas capacidades en los organismos públicos. Es fundamental para que el esfuerzo que hagamos en materia de I+D+i rinda frutos, que el sector público incorpore una proporción mayor de personal altamente calificado y que existan los espacios para que puedan aportar sus conocimientos e interactuar de manera sistemática con la comunidad de investigadores nacional e internacional. Es evidente, pero no por ello debe darse por asumido, que esto debe darse tanto al nivel de los organismos centrales como en sus expresiones regionales.



3. Un nuevo marco para acompañar la materialización de este informe

Una agenda de I+D+i debe entenderse como un proceso vivo, que no extingue su valor al momento de ser confeccionada. Entendemos que se trata de orientaciones y propuestas que deben actualizarse en función de los cambios que ocurren en el contexto, o incluso producto del avance que tiene su materialización. De ahí que en la Comisión nos pareció de suma importancia establecer algún mecanismo institucional que permita mantener activo el proceso de reflexión y discusión.

Por otra parte, la convocatoria al trabajo conjunto de los distintos actores del sistema de ciencia, tecnología e innovación que trabajan en torno a los retos que plantea la situación de los recursos hídricos, marcó en sí misma un hito con ciertos rasgos fundacionales. En efecto, la Comisión y el trabajo de los distintos grupos, así como las actividades zonales, sirvieron para generar un espacio de encuentro de este mundo que hasta ahora no se había producido con la intensidad y amplitud lograda. El contacto entre los investigadores, los funcionarios públicos, las empresas y las organizaciones no gubernamentales, permitió identificar nuevos ámbitos de colaboración, y puso en evidencia la falta de articulación y coordinación que ha caracterizado las actividades de I+D+i en este plano. Esta falencia se detecta tanto desde el punto de vista de la acción de los distintos entes ejecutores de actividades, como de parte de quienes apoyan desde el Estado tales acciones.

Con vista a responder a los requerimientos de sostener la agenda como un proceso continuo en el tiempo y de mejorar la coordinación de los esfuerzos, se proponen dos iniciativas en las que ya se está avanzando, y que se refieren a la creación de instancias de coordinación de la I+D+i en recursos hídricos por una parte, y por otra de las instituciones públicas que se vinculan con la gestión de los recursos hídricos y pueden aprovechar la I+D+i generada.

En esta marco, los propios miembros de la Comisión con el apoyo del CNID, constituimos la Red de Investigación en Recursos Hídricos que agrupa a más de 25 grupos de investigación que pertenecen a Centros y Facultades, que desarrollan actividades de I+D+i en áreas relevantes a lo largo del país. Más antecedentes de la Red se entregan en la descripción de las iniciativas en curso de la Agenda.

Respecto de la necesidad de generar un espacio de coordinación en el sector público, se avanzó en la constitución de un comité coordinador interinstitucional, que es integrado por la Dirección General de Aguas, CONICYT, CORFO, Iniciativa Milenio, la Fundación de Innovación Agraria (FIA) y el CNID y que se ha denominado Comité de Orientaciones Estratégicas de Investigación en Agua (COEIA). Este se estableció por acuerdo voluntario de las partes y es coordinado por el Director General de Aguas. Busca cumplir el rol de contraparte de la red de investigación recién indicada, mantener actualizadas las orientaciones estratégicas de la Agenda velando por el interés público de la misma, y articular el apoyo de las agencias públicas en pro de su materialización.

Sin perjuicio de su carácter voluntario, la expectativa, es que su operación se mantenga en el tiempo, pues es una condición indispensable para que el apoyo público se organice en función de este Informe de I+D+i.

Finalmente, la propia Comisión concordó reunirse semestralmente para dar apoyo y soporte estratégico a la implementación de la Agenda.

Constituimos la Red de Investigación en Recursos Hídricos que agrupa a más de 25 grupos de investigación que pertenecen a Centros y Facultades.

4. Aporte al desarrollo de una cultura sostenible del agua

Es necesario tomar conciencia de la escasez generalizada y de los límites del agua como recurso finito, de su condición vital, de la necesidad de gestionarla de mejor manera, regulando su demanda, y de la responsabilidad que cada actor tiene en su conservación y la necesidad que esto supone de modificar nuestros hábitos. Es a esto a lo que nos referimos cuando se habla de generar una cultura sostenible del agua.

A la fecha, han existido esfuerzos aislados, poco coordinados con otras iniciativas, y no escalables ni perdurables en el tiempo que han tratado de avanzar en esta dirección. Es por eso, que existe consenso que es necesario tener una estrategia de educación para la sostenibilidad, que sensibilice sobre los recursos hídricos y sus urgencias, y que al mismo tiempo, genere los cambios culturales necesarios para su conservación en el futuro.

En este contexto, se ha considerado como condición habilitante relevante tanto impulsar valores y conceptos sustentables respecto del recurso hídrico en la sociedad, así como comprometer el aporte de la CTI a la sostenibilidad del agua. En este marco son importantes las acciones de divulgación científica en las comunidades locales que apoyen la comprensión del agua como un elemento vital en nuestra sociedad y en los territorios, promoviendo su protección y uso sustentable en todo el espectro de la economía nacional y la sociedad civil.

La Comisión plantea la necesidad de promover la educación de temáticas como la importancia ecosistémica del agua, la reutilización del agua, el uso eficiente del agua y huella hídrica a todos los niveles de la sociedad, concentrando esfuerzos a nivel local y con las consideraciones a la interculturalidad que está asociada al agua, con foco tanto en los establecimientos educacionales, como también en eventos abiertos a la comunidad que aprovechen los espacios de organización social existentes (juntas de vecinos, clubes deportivos, juntas de vigilancia, etc.).

De esta manera propone:

- a) Fortalecer los conocimientos de las escuelas en el uso sostenible del agua y vincular el aporte de la CTI para la sostenibilidad del recursos, integrando este foco en el programa de Cultura: Cultura CTI, Una travesía por las ciencias, la tecnología y la innovación; que está impulsando el CNID en alianza con el Ministerio de Educación y Conicyt, y que reúne a profesores y científicos en la generación de iniciativas que muestren el valor de la CTI a los niños en las escuelas. Esta es una de las iniciativas donde ya se han iniciado acciones para su materialización.
- b) Fortalecer la formación docente sobre sostenibilidad del agua para, a través de ellos, reforzar en enseñanza básica y media las materias de la importancia relativa al agua y su uso sostenible.
- c) Fomentar y potenciar iniciativas y eventos abiertos a la comunidad para divulgar la importancia del agua y promover su uso sostenible, utilizando espacios de organización social (juntas de vecinos, clubes deportivos, colectivos), OUAs y de otros tomadores de decisiones, entre otros.





Daniilo Urbina (CC BY-NC-ND 2.0)

II. LÍNEAS ESTRATÉGICAS DE LA I+D+i PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

La Comisión organizó las propuestas de las subcomisiones en torno a cuatro grandes Líneas Estratégicas prioritarias de investigación, desarrollo e innovación para apoyar desde el conocimiento la sostenibilidad de los recursos hídricos de nuestro país, y que son las siguientes:

1. I+D+i para la comprensión de los procesos hidrológicos
2. I+D+i para la gestión integral de los recursos hídricos
3. I+D+i para la comprensión de los ecosistemas acuáticos
4. Desarrollo tecnológico para la sostenibilidad de los recursos hídricos

A continuación se describen cada una de las Líneas Estratégicas, a través de un resumen de la situación actual y las áreas priorizadas según corresponda, y las líneas de acción propuestas. Estas últimas derivan en medidas de corto, mediano y largo plazo.

1.

I+D+i para la comprensión de los procesos hidrológicos

Situación actual

La comprensión de los procesos hidrológicos es fundamental para cualquier acción sobre los recursos hídricos, pero también para la generación de I+D+i en áreas más específicas de apoyo a su gestión sostenible.

Esta es una investigación que requiere ser abordada con un enfoque holístico que integre capacidades (más que disponer de un conjunto de investigaciones aisladas), de mediano y largo plazo y de carácter nacional, pero integrando las particularidades territoriales tanto a nivel de macrozonas como de cuencas. Por ello se propone que sea abordada a través de programas de investigación que cumplan estas características.

Respecto de las áreas a priorizar, consideramos como Comisión que el criterio principal es relevar aquellas que resultan más importantes para los desafíos públicos, de manera que este conocimiento permita apoyar y sustentar decisiones de políticas y regulación, elemento clave para la sostenibilidad del recurso. Es en consideración de este último criterio que se proponen programas de I+D+i en áreas prioritarias.



Áreas prioritarias

Gestión de los recursos hídricos superficiales-subterráneos

En la actualidad, en una gran parte del territorio nacional se hace un uso intensivo de las aguas superficiales y subterráneas. Así, la mayoría de los sistemas hidrológicos se encuentran profundamente intervenidos y la gestión de los recursos de agua debe considerar tanto las condiciones naturales como el efecto de las intervenciones aguas arriba.

Hidrología de montañas

La mayor parte de la escorrentía del país se genera en zonas montañosas, sin embargo, la complejidad propia de esas áreas, las particularidades de nuestra geografía y las dificultades de acceso, hacen que —en general— el conocimiento hidrológico de los procesos que ellas presentan sea precario. Además, crecientemente se desarrollan actividades de diversa índole (productiva, turística, transporte, etc.) en las zonas de montaña, que requieren un mejor conocimiento.

Considerando la enorme importancia de esas zonas para el desarrollo del país, se estima que debiera hacerse un esfuerzo especial en I+D+i para atender los déficits existentes, mediante un programa regular, con una perspectiva de mediano y largo plazo.

Meteorología y climatología para la gestión de los recursos hídricos

La naturaleza propia de los fenómenos meteorológicos obliga a la investigación del contexto local. En el caso de Chile, ese requerimiento se acentúa por las características del país, con accidentes geográficos notables como son la presencia de la Cordillera de Los Andes, la corriente de Humbolt, su ubicación en una zona de transición altamente afectada por el desplazamiento de los centros de alta presión, entre otros. Así, el conocimiento hidrológico necesario para asumir los desafíos en relación con la gestión del agua está condicionado a nuestro conocimiento de ciertos fenómenos y comportamientos meteorológicos. Necesitamos fortalecer la investigación nacional en ciertas materias de la meteorología que se relacionan directamente con la gestión del agua, siendo recomendable crear un programa de largo plazo, de carácter científico-técnico, que potencie el desarrollo de la meteorología en función de atender las necesidades nacionales en materia de recursos hídricos.

Hidrología de zonas áridas

En general, las características hidrológicas de las zonas áridas ofrecen enormes desafíos a las áreas de evaluación y modelación de los recursos de agua. Paradojalmente, son las áreas que requieren de un conocimiento más preciso y detallado para realizar una gestión adecuada de este recurso. Así, el aporte de I+D+i en esta materia resulta de la mayor importancia. Este marco, de validez general, resulta aún más crítico en el caso de Chile, donde buena parte de su actividad económica está relacionada con dichas áreas y la mayor parte de la población del país se asienta en tales territorios.

Líneas de acción

I+D+i para la comprensión de los procesos hidrológicos

PLAZO	MEDIDAS	ACTORES
INVESTIGACIONES PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES-SUBTERRÁNEOS		
MEDIANO 2020 AL 2025	Geometría de acuíferos/determinación de parámetros hidrogeológicos / hidráulica de pozos /acuíferos en roca.	Conicyt-COEIA, Universidades, centros de investigación y Red de Investigación en Recursos Hídricos
	Procesos de recarga de acuíferos natural y artificial/interacción riego-acuíferos.	
	Evapotranspiración real (ETR) de sistemas naturales y cultivos.	
	Relación río acuífero/coeficientes de conductividad en cauces / infiltración de canales.	
	Modelación integrada superficial-subterránea de sistemas de recursos hídricos para la gestión/modelación de sistemas hídricos a nivel de cuenca.	
INVESTIGACIONES EN HIDROLOGÍA DE MONTAÑAS		
MEDIANO 2020 AL 2025	Acumulación nival: distribución espacial-temporal/volumenes/línea de nieves.	Conicyt-COEIA, Universidades, centros de investigación y Red de Investigación en Recursos Hídricos
	Procesos de deshielo /evaporación /sublimación.	
	Impacto hidrológico de glaciares/hidrología glacial (blanco /cubiertos/ de roca).	
	Recarga natural y artificial en laderas/escorrentía/interconexión acuíferos.	
	Modelación de derretimiento de nieves/hielo/escorrentía.	
	Pronósticos de caudales de deshielo.	
	Interacción precipitación /escorrentía /vegetación en sistemas andinos y bosques	
	Producción y transporte de sedimentos /cuantificación de erosión / morfología de cauces.	
Rol de los glaciares en la producción de agua.		
INVESTIGACIONES METEOROLÓGICAS-CLIMÁTICAS PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS		
MEDIANO 2020 AL 2025	Variabilidad climática/ciclos/sequías históricas/tendencias.	Conicyt-COEIA, DMC, Universidades, centros de investigación y Red de Investigación en Recursos Hídricos
	Comportamiento de los eventos de precipitación/origen/eventos climáticos extremos/intensidades.	
	Pronósticos meteorológicos estacionales.	
	Modelación meteorológica para la predicción hidrológica de corto plazo para apoyar los procesos de gestión y toma de decisiones.	
	Cambio climático y modelación de escenarios para recursos hídricos (a nivel de cuenca).	
INVESTIGACIONES EN HIDROLOGÍA DE ZONAS ÁRIDAS		
MEDIANO 2020 AL 2025	Origen de aguas subterráneas en zonas áridas/datación y aguas fósiles/ interconexiones/geoquímica.	Conicyt-COEIA, Universidades, centros de investigación y Red de Investigación en Recursos Hídricos
	Recarga acuíferos en zonas áridas/caracterización de eventos de recarga/zonas de recarga.	
	Propiedades hidrogeológicas/geometría de acuíferos en climas áridos.	
	Evaporación desde suelos húmedos/salares/vegas y humedales.	
	Eventos de crecidas súbitas.	
	Biomás áridos y agua.	

2.

I+D+i para la gestión integral de los recursos hídricos

Situación actual

De acuerdo a la Asociación Mundial del Agua (GWP), la Gestión Integrada en Recursos Hídricos (GIRH) corresponde a un proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante, de manera equitativa y sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas ambientales.

La complejidad institucional, legal y tecnológica del sistema GIRH requiere de un largo proceso —interactivo e iterativo— en varias fases o etapas. Sin embargo, en Chile aún no se han tomado acciones decisivas para instalar y mantener acciones y procesos para una gestión integrada del agua a nivel de cuencas, a pesar de haberlo intentado en diversas oportunidades. En ese sentido, se puede mencionar como acciones parciales o que fueron abandonadas a la Estrategia de Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas de 2007 y las Mesas del Agua o Directorios del Agua.

Por otra parte, el aprovechamiento de los recursos hídricos, en las condiciones de escasez predominantes en una extensa zona del país, hace necesario el desarrollo de sistemas de gestión de alta eficiencia a nivel de las cuencas, orientadas a optimizar el uso del recurso, en un marco de gestión integrada.

Hoy existen diferentes brechas que dificultan la implementación de la GIRH donde la I+D+i puede aportar. Entre ellas destacan:

- Insuficiente capital humano para el monitoreo, simulación y construcción de escenarios hídricos
- Inexistencia de unidades técnicas que apoyen la toma de decisiones para la gestión del agua por cuencas;
- Un Estado con capacidades restringidas en CTI y poca vinculación con I+D+i en recursos hídricos;
- Asimetrías en capacidades y niveles de profesionalización en OUAs para la gestión de los recursos hídricos por cuenca;
- Insuficiencia (en algunas zonas de Chile) de organizaciones de usuarios de agua;
- Insuficiente infraestructura en TICs para monitoreo y procesamiento de la información;
- Visión restringida de actores vinculados a la gestión de los recursos hídricos;
- Reducido análisis y caracterización de actores (incumbentes, no incumbentes con y sin derechos de aprovechamiento de agua), y su poder de intervención;
- Falta de coordinación para la gestión de información de parte de instituciones públicas y otros actores de la cuenca;
- Carencia de instancias y mecanismos de coordinación de actores vinculados al agua por cuenca (incumbentes y no incumbentes);
- Falta de mecanismos de fomento a la participación en instancias de coordinación de las cuencas;



Claudio Balboa/INIA



Claudio Balboa/INIA

- Limitado marco jurídico que promueva la GIRH;
- Inexistencia de una estructura de gestión de cuenca (consejo directivo) que coordine a actores y sus tomas de decisiones (incumbentes y no incumbentes);
- Ausencia de relaciones entre planes de ordenamiento y el uso del agua en el territorio;
- Escasa capacidad de fiscalización de parte de instituciones públicas y privadas;
- Falta de un marco normativo que promueva y potencie en las OUAs la administración de los recursos hídricos con instrumentos de GIRH y;
- Dificultad para gestionar en un marco de extrema complejidad e incertezas (diferencias entre cuencas); impactos inesperados en el corto y largo plazo, inundaciones, sequías y/o afectación a la calidad de las aguas, y cambio climático.

El aporte de la CTI es clave para comprender, entre otros: los procesos y/o modelos de gobernanza para una GIRH que responda a las necesidades territoriales propias de nuestro país; las condiciones organizacionales de los territorios para la implementación de una institucionalidad que permita una gestión sostenible de los recursos hídricos; los procesos de participación adecuados para una GIRH para las distintas cuencas y; la cosmovisión (imaginario) del agua en distintas culturas, comunidades y pueblos originarios dentro de contexto político, social, económico, ancestral y ambiental.

Los desafíos para la GIRH son diversos, complejos y requieren de un enfoque multidisciplinario que respete las necesidades de cada territorio, que considere los impactos culturales, ambientales y económicos. La CTI puede hacer un aporte fundamental en este intrincado camino.

Se espera que Chile a 2030 cuente con una institucionalidad a cargo de la gestión sostenible de los recursos hídricos del país, pero lo suficientemente flexible para que la GIRH esté enfocada a las particularidades y necesidades de cada territorio.

Nuestra expectativa es que esta institucionalidad cuente con las atribuciones, facultades y competencias adecuadas para hacer una gestión sostenible del agua, con información accesible y confiable en relación de la cantidad y calidad de agua de la cuenca y sus acuíferos, y con la capacidad de coordinar la participación de los diferentes actores por cuenca (instituciones públicas, OUAs, empresas u organizaciones productivas y ciudadanía beneficiaria o afectada por la gestión de los recursos hídricos) que consolide el trabajo colaborativo y permanente con las universidades y centros de investigación, y cuente con mecanismos validados para resolver controversias entre los distintos usuarios de la cuenca.

Líneas de acción

I+D+i para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos

PLAZO	MEDIDAS	ACTORES
CORTO 2018 AL 2020	Desarrollar estudios que faciliten procesos y apoyen el establecimiento de gobernanzas de recursos hídricos por cuenca	DGA-COEIA, Red de Investigación en Recursos Hídricos
	Coordinación a nivel local de entidades que generan información y conocimiento para la generación de plataformas para la GIRH de acceso público	DGA-COEIA Red de Investigación en Recursos Hídricos, Gobiernos Regionales
	Fortalecimiento de competencias y capacidades en OUAs, a través de cursos de perfeccionamiento para profesionalizar en temas de gestión y organizacionales, liderazgo, resolución de conflictos, entre otros.	DGA-COEIA
	Instalar instancias de coordinación macrorregionales de recursos hídricos en CTI para la GIRH	DGA, Gobiernos Regionales, Red de Investigación en Recursos Hídricos, OUAs y empresas
MEDIANO 2020 AL 2025	Promover el desarrollo de programas piloto demostrativos de mesas de agua en cuatro cuencas por definir, para la implementación de la Gestión Integrada de Recursos hídricos	DGA
LARGO 2025 AL 2030	Contribuir a fortalecer la implementación de mesas del agua en las 25 principales cuencas del país (por definir).	

3.

I+D+i para la comprensión de los ecosistemas acuáticos

Situación actual

La gestión de los recursos hídricos debe armonizar las relaciones sociales y productivas con las ambientales. Para ese propósito resulta necesario contar con información de base y con un conocimiento cabal de la relación entre los ecosistemas y los recursos hídricos. En ausencia de ese conocimiento, la sostenibilidad ambiental, las regulaciones, la evaluación de los impactos y los planes de mitigación pueden resultar inadecuados.

En el país, el tema ambiental es crecientemente motivo de conflicto, con un incremento del deterioro ambiental. Estos fenómenos son en parte el resultado de la falta de conocimiento científico sobre la relación agua y ecosistemas. En efecto, los estudios básicos e investigaciones sobre estos temas están dispersos y son generados principalmente por universidades y empresas a propósito del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). De hecho, existen muchos estudios e investigaciones al respecto, pero no están disponibles y no se cuenta con una plataforma que permita almacenarlos y facilitar su uso, ni con una normativa que permita aprovechar la información generada por los privados.

Entre otros temas, lo anterior significa no conocer la calidad de las aguas y las consecuencias de los eventuales procesos de contaminación existentes. El avance en el país al respecto ha sido lento. A modo de ejemplo, hace diez años se priorizó la preparación de catorce normas secundarias de calidad de cuencas principales (instrumento clave en el tema). Esta priorización resultó ambiciosa si se considera que a la fecha solo se han aprobado seis (Río Maipo, río Biobío, río Valdivia, río Serrano, lago Villarrica y lago Llanquihue), dado que este proceso requiere del acuerdo entre varios actores (público-privado) y de una base de datos ambiental que no resulta suficiente y que se ha tenido que ir robusteciendo con el tiempo. De igual forma, las características, estado, y objetivos de conservación de los ecosistemas es una materia que, en general, no está definida en las cuencas del país.

La condición ambiental de los cuerpos de agua determina un importante número de decisiones relativas a la regulación de los usos de dichos cuerpos de agua y a la factibilidad y características de los proyectos. Dicho conocimiento es, básicamente, una responsabilidad de los organismos públicos y constituye un marco para las actividades de I+D+i, y para la realización de los estudios específicos de interés de los usuarios.

Áreas prioritarias

Generación de indicadores biológicos para la evaluación de la calidad de aguas, identificación de fuentes contaminantes y modelos de calidad de aguas

Se ve la necesidad de generar indicadores biológicos que permitan hacer un seguimiento de la condición ambiental de los cuerpos de aguas y el desarrollo de investigación de contaminantes emergentes (antibióticos, pesticidas y fertilizantes). En los últimos años el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) ha impulsado la implementación de normas de calidad junto con sus respectivos programas de medición y control y hoy se encuentra evaluando la declaración de zona saturada por clorofila y nutrientes en el Lago Villarrica, lo que daría lugar al primer plan de descontaminación de un ecosistema acuático en Chile. Para ello, se está buscando apoyo técnico internacional. Adicionalmente, se está trabajando en la revisión de las normas de emisión (por ejemplo, el Decreto Supremo N°90/00), incluyendo nuevos ámbitos territoriales de aplicación como los estuarios, donde se concentra gran población, actividad productiva y servicios ecosistémicos de estos ambientes.

Caudales ambientales y caracterización de usos ambientales

La determinación de los caudales ambientales en los distintos cauces del país es crítica para el establecimiento de las medidas de conservación ambiental y la evaluación de la disponibilidad de recursos hídricos para fines productivos. Ello supone la investigación de los ecosistemas que se deben preservar y su relación con los caudales, en las condiciones particulares de los ríos chilenos, tarea que aún está en etapas iniciales. Al respecto el MMA con el apoyo de Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GIZ), está comenzando a estudiar —en las zonas que prestan servicios ecológicos importantes— la altura mínima del cauce, las curvas de habitabilidad de las especies más importantes. Además, existen otros estudios parciales, pero se trata de pasos iniciales y queda mucho por avanzar. La falta de investigación tiene consecuencias directas en la generación de normativas. Así, no contamos de hecho con marco metodológico, modelos ecohidrológicos propios, e investigación que permita conocer cuál es el caudal que permite que se mantenga una comunidad ecológica viva o como lo estima Europa, del ser vivo más importante que en general es el del nivel más alto de la cadena trófica de manera de hacerse cargo de las singularidades territoriales de nuestro país. Quedan además completamente abiertos temas como las demandas escénicas.

Procesos hidrobiológicos en lagos y otros sistemas acuáticos: caracterización de biodiversidad, procesos en estuarios e impacto de los proyectos de desalinización

Chile presenta una gran riqueza hidrobiológica, la que, además, es importante para la sostenibilidad de las ciudades instaladas en sus márgenes y de diversas actividades turísticas y productivas. La investigación de la ecología fluvial en el país debiera entregar información sustantiva para la formulación de las normativas y planes de descontaminación, relativos a proyectos relacionados con los recursos hídricos.

Estado ecológico de ecosistemas acuáticos continentales en categoría de frágiles y vulnerables (vegas, bofedales, humedales y turberas)

Existen diversos ecosistemas asociados a los recursos hídricos que presentan gran interés por sus características particulares, pero que son de gran fragilidad. Es el caso de humedales andinos y costeros, así como de las turberas de la zona austral. Para su protección y manejo sostenible es necesario el desarrollo de programas específicos, que refuercen el conocimiento que se tiene en la actualidad, generado en esfuerzos aislados de universidades, organismos públicos, ONG's y empresas.

Restauración dinámica de cauces, y de servicios ecosistémicos de provisión y soporte de agua y biodiversidad

En el país se observa un gran deterioro de muchos cauces que han sido objeto de explotación incontrolada como fuente de áridos, o que experimentan el impacto de la creciente convivencia con zonas urbanas. Además, el cambio de uso de suelo en las cuencas ha conllevado a un deterioro en los servicios ecosistémicos de provisión de agua. Esto hace necesario en el futuro desarrollar proyectos de protección y restauración fluvial, lo cual supone avanzar en el conocimiento de la dinámica de los ríos, su interacción con los ecosistemas ribereños y de las técnicas de restauración, materias que han sido motivo de escasa investigación en el país.

Efectos y adaptación al cambio climático

El impacto del cambio climático global se estima que será de gran importancia en el régimen hidrológico de diversas zonas del país. Si bien se han realizado diversos estudios, ellos aún están lejos de entregar información suficiente para su uso práctico en la planificación o el diseño, al nivel de proyectos particulares o de cuencas. Esto supone reforzar las investigaciones en esta materia.

Líneas de acción

I+D+i para la comprensión de los ecosistemas acuáticos

PLAZO	MEDIDA	ACTORES
CORTO 2017-2020	Diseño y validación de metodologías para determinar caudales ambientales y bienes y servicios ecosistémicos asociados a las cuencas y subcuencas de Chile	MMA, DGA, Universidades y centros de investigación.
	Categorizar ecosistemas acuáticos en función de su vulnerabilidad, restauración para uso sostenible y conservación	MMA, DGA, Universidades y centros de investigación.
MEDIANO PLAZO 2020-2025	Restaurar y rehabilitar áreas prioritarias para la provisión de agua como servicio ecosistémico.	MMA, Universidades y centros de investigación.
	Generación de curvas de habitabilidad de especies claves para los 25 ríos y lagos (Por definir).	MMA, Universidades y centros de investigación.
LARGO PLAZO 2025-2030	Determinación de caudales ambientales que aseguren los usos esenciales del agua como el suministro público de agua, saneamiento y servicios ecosistémicos en las 25 cuencas principales del país (cuencas por definir).	MMA, Universidades y centros de investigación.

4.

Desarrollo tecnológico para la sostenibilidad de los recursos hídricos

Situación actual

Las demandas del sector agropecuario alcanzan alrededor del 73% del agua. Es por esto, que se deben impulsar fuertemente los nuevos desarrollos tecnológicos en este sector, que tengan como desafíos disminuir las demandas de agua, los servicios vinculados a la difusión y transferencia tecnológica. En este sentido, la mejora en el desempeño de los sistemas de riego es probablemente el aspecto que mayor impacto tenga en la eficiencia del uso de agua en Chile. En el concepto de riego se consideran tanto el "riego normal" como los "riegos eventuales". Para esto se requiere contar con información de la variabilidad en las propiedades físico-hídricas y químicas del suelo en el predio e información de demanda hídrica y tolerancia a estrés hídrico y salino de cultivos. No obstante, surge el desafío de evaluar el impacto de la tecnificación en el riego, en el proceso de recarga de acuíferos, elemento que puede ser muy importante, especialmente en zona áridas y semiáridas.

Por otro lado, en la macrozona norte y central de nuestro país, la oferta de agua es cada vez es más escasa y los sectores productivos dominantes tienen altas demandas por este recurso (i.e minería, agropecuario, industrial), lo que hace que la posibilidad de reciclaje o reúso de aguas, sea una posibilidad de disminuir la presión y disminuir la tensión que genera esta escasez. Para esto se requiere conocer los requerimientos de calidad para los distintos procesos productivos, como también las calidades de aguas residuales de la minería, industriales y agroindustrial. Así se determinan la menor "distancia" entre el agua disponible residual y la calidad necesaria para otro sector productivo, lo que determina el tratamiento requerido según sea el fin de uso. Esto reafirma la necesidad de desarrollar sensores específicos a las calidades requeridas para los distintos procesos.

Existe una gran necesidad de contar con información de las variables hidrológicas, en particular relativas a hielo, nieves y calidad de agua. Para ello, es clave contar con sensores costo-eficientes, que respondan a las singularidades de nuestros sistemas hídricos dado el alto desnivel que alcanzan en cortos tramos, hecho muy singular a nivel mundial. Por lo tanto, se requieren sensores que sean hechos con materiales que soporten los niveles de metales y sedimentos, entregando una mayor vida útil. Otra demanda por sensores se genera desde la necesidad de determinar las pérdidas y las presiones en la red de distribución agua potable. La relevancia de esta acción se hace evidente cuando se considera que las pérdidas de agua están estimadas en más del 30%¹¹.

La particularidad que presenta al contar con más de 7.000 km de costa, el uso de agua de mar y la desalación surge como alternativa a considerar dado el avance en su tecnología y la disminución de los costos de las energías requeridas. Existiendo de igual manera desafíos de I+D en estas materias.

Esperamos contar al 2030, con capacidades tecnológicas para la generación de desarrollo de interoperabilidad de plataformas en el sector público, para las variables hidrometeorológicas, El desarrollo de Plataformas para el control de extracciones de agua superficiales y subterráneas, desarrollo de plataformas para el control de la demanda de agua por los cultivos asociado a la eficiencia y se dispondrá de sensores costo eficientes para responder a las singularidades de nuestro territorio. Se habrá potenciado el desarrollo tecnológico en agua y riego superficiales y presurizados para sistemas de optimizados a través de la vinculación ciencia y empresas privadas y se contará con un desarrollo tecnológico para procesos secos en la minería del cobre.

Por otro lado, en la definición entre el desarrollo propio o la adopción tecnológica para las distintas soluciones tecnológicas, deben conjugarse criterios de costo beneficio que incluyan la perspectiva temporal; costo económico, social y ambiental de la solución versus los costos del problema; y las posibilidades de negocio futuras que puedan asociarse al desarrollo de capacidades y servicios derivados en torno a ciertas tecnologías.

Líneas de acción

Desarrollo Tecnológico para la sostenibilidad de los Recursos Hídricos

PLAZO	MEDIDA	ACTORES
CORTO 2017-2020	Generación de interoperabilidad de las Plataformas de sistemas de información operados por las distintas instituciones del estado.	DGA, DMC, CNR, Sernageomin, MMA
	Desarrollo de plataformas para el control de extracciones de agua superficial y subterránea	DGA, Red de Investigación en Recursos Hídricos
	Determinación a través de percepción remota y sensores de requerimientos hídricos de los principales cultivos	COEIA, Red de Investigación en Recursos Hídricos
LARGO PLAZO 2025-2030	Desarrollo de procesos secos para la minería del cobre	Consejo Minero, Red de Investigación en Recursos Hídricos
	Desarrollo de tecnologías que optimicen los sistemas de riego	INIA, CNR, FIA, Universidades, centros de investigación y Red de Investigación en Recursos Hídricos
	Desarrollo de tecnologías para el reuso y la generación de nuevas fuentes de agua	COEIA, Universidades y centros de investigación
	Desarrollo de estudios para la gestión de aguas lluvias e infraestructura verde en ciudades	COEIA, Gobiernos Regionales y Red de Investigación en Recursos Hídricos
	Desarrollo de plataformas tecnológicas de información y modelación a nivel de cuencas para el apoyo de la GIRH	DGA, Red de Investigación en Recursos Hídricos
	Desarrollo de técnicas de uso de agua de mar para cultivos	INIA, CNR, FIA, Universidades, centros de investigación y Red de Investigación en Recursos Hídricos

III. INICIATIVAS EN CURSO PARA MATERIALIZAR LA AGENDA

Para cada una de las Líneas Estratégicas que conforman el presente informe, se han identificado medidas de corto plazo que deberían ser implementadas a partir de 2017. El carácter de inmediatas responde por un lado, al hecho de que constituyen condiciones de base para la implementación del resto de las propuestas que aquí se plantean, y por otro, a que resultan plausibles ya que aprovechan algunos esfuerzos y voluntades que ya se han generado en torno a la discusión de esta agenda.

Estas forman parte de las acciones propuestas la generación de condiciones habilitantes para la I+D+i.

1. Incrementar la calidad de la información y aumentar la cobertura de la red hidrométrica nacional con otras instituciones públicas

Se está coordinando la información disponible en las diferentes plataformas de las agencias públicas vinculadas con los recursos hídricos; DGA, MMA, DMC, Sernageomin, con la finalidad de contar con una interoperabilidad de las plataformas y así contar con información actualizada y confiable a través de plataformas que permitan su amplia difusión, acceso oportuno y utilización por parte de todos los actores vinculados en la gestión del agua en el país.

Por otro lado, en conjunto con la SMA y la DGA se está trabajando en protocolos para utilizar e incorporar la información de monitoreo de calidad de agua y glaciares que se realizan en el contexto del cumplimiento de la Resolución de Calificación Ambiental que aprueba a dichos proyectos y que son fiscalizados por la SMA.

2. Determinación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos en las diferentes zonas agroecológicas de Chile

Se busca determinar los requerimientos hídricos de los principales cultivos del país por zona agroclimática en cultivos como frutales caducifolios (uva de mesa, manzanos, cerezos), frutales perennifolios (paltos, olivos, cítricos) y cultivos anuales (trigo, maíz, papas), entre otros, a nivel de regiones agroecológicas. Esto se pretende alcanzar a través del trabajo articulado interinstitucional en agricultura y en la temática hídrica del país mediante un proyecto nacional que permita que permita estimar la demanda hídrica de los principales cultivos en las diferentes regiones geográficas del país y así hacer más eficiente el riego, y disminuir la huella hídrica en el sector agrícola, que es el principal usuario consuntivo del agua.

3. Conformación de la Red de investigación en Recursos Hídricos

La Red de Investigación en Recursos Hídricos se creó el 1 de septiembre de 2016, con la convergencia de 25 entidades de investigación (centros de investigación públicos y privados, facultades, agencias públicas que realizan investigación) de todo el país. La organización está coordinada por cuatro macrozonas; norte, centro, sur y austral. La Red busca constituir un espacio de colaboración entre los grupos de investigación en recursos hídricos nacionales para:

Para cada una de las Líneas Estratégicas que conforman este informe, se han identificado medidas de corto plazo que deberían ser implementadas a partir de 2017.

- Generar datos, información y conocimientos
- Ejecutar de manera conjunta proyectos de investigación, desarrollo e innovación
- Publicaciones científicas, técnicas y de divulgación de la ciencia con mirada integral
- Acceso a equipamiento y metodologías de los grupos conformantes de la red
- Formación de capital humano avanzado
- Alianzas con centros internacionales
- Contar con espacios de debate y conversación
- Detectar y compartir nuevos desafíos
- Constituir un espacio de comunicación y articulación con la sociedad, incluyendo el aporte de información para la generación de Políticas Públicas e Institucionalidad, Representantes de la sociedad civil organizada, empresas públicas y privadas, y agencias internacionales.

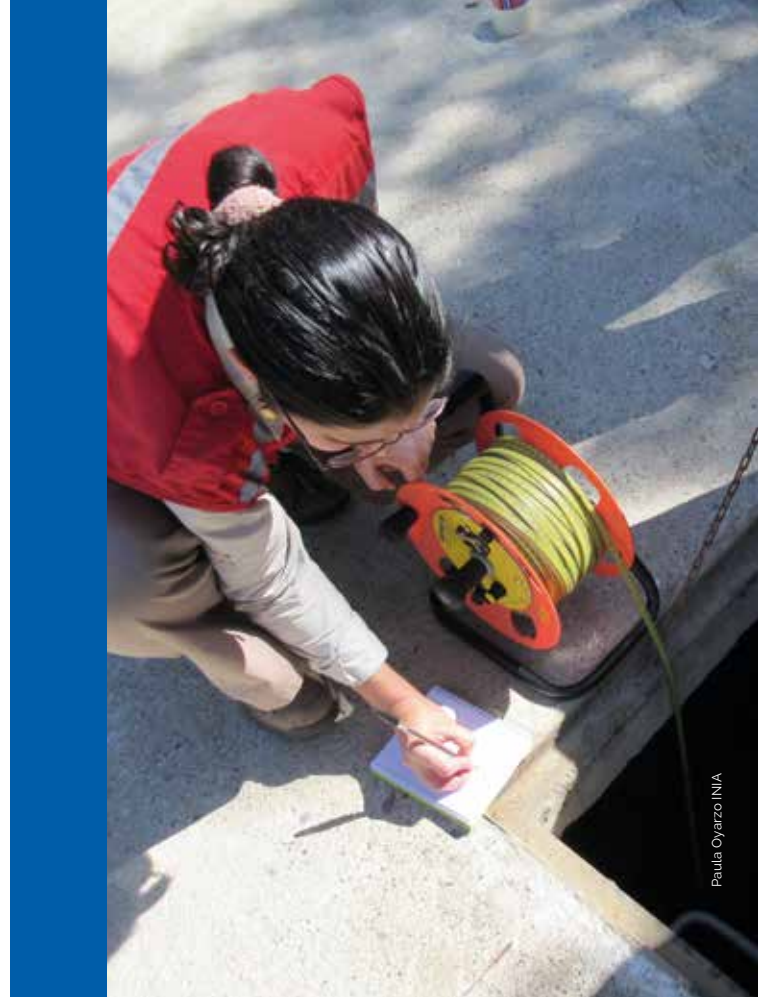
4. Constituir un Comité de Orientaciones Estratégicas de Investigación en Agua (COEIA)

Este Comité recientemente constituido, permitirá tener una instancia que coordine y permita un gasto más eficiente en ciencia, tecnología e innovación en recursos hídricos, y que genere investigación con mayor incidencia en el desarrollo del país. El Comité está constituido por las siguientes instituciones: DGA, CNID, Corfo, Conicyt, ICM y FIA.



5. Incorporación de la temática de sostenibilidad del agua en el programa “Cultura CTI”

Este programa busca aportar a la integración de una cultura sostenible del agua desde la CTI en el sistema educativo, estableciendo una instancia que permita la articulación de las propuestas educativas en la materia con los establecimientos educacionales. Esto a través de difundir en la Red de Investigación de Recursos Hídricos dos iniciativas: Cultura CTI, Una travesía por las ciencias la tecnología y la innovación, de Explora-CNID que se desarrolla en varias regiones del país y los Centros de Creación (CECREA) para niñas, niños y jóvenes que a través las artes, las ciencias, la tecnología y la sustentabilidad promueven el derecho imaginar y crear, convocados para instalar prácticas de investigación aplicada colaborativa que generen innovación.



Paula Oyarzo INIA



Jorge Morales Piderit



Paula Oyarzo INIA





3 | ANEXOS





Anexo 1

ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE RECURSOS HÍDRICOS PARA EL SECTOR AGROPECUARIO AL 2030

1. Metodología

Objetivo:

El Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad solicitó al Minagri realizar una estimación de la demanda de recursos hídricos del sector agropecuario para el año 2030. Para ello fueron convocados profesionales de INIA, CNR y Odepa.

Odepa se encargó de estimar el uso de suelos de riego para el 2030.

CNR realizó los cálculos de la demanda de recursos hídricos para los escenarios propuestos.

Información utilizada:

- Censos agropecuarios 1997 y 2007; catastro frutícola; encuestas continuas de cultivos anuales e industriales.
- Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. Ingenieros Consultores, enero 2007. Estudio "Estimaciones de Demanda de Agua y Proyecciones Futuras.

Zona I Norte. Regiones I a IV" de la Dirección General de Aguas. URL: <http://documentos.dga.cl/USO4854v1.pdf>

- Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. Ingenieros Consultores, enero 2007. Estudio "Estimaciones de Demanda de Agua y Proyecciones Futuras. Zona II. Regiones V a XII y Región Metropolitana" de la Dirección General de Aguas. URL: <http://documentos.dga.cl/USO4855v1.pdf>
- Centro Agrimed 2015. Evapotranspiración de Referencia para la determinación de demandas de riego en Chile de la Comisión Nacional de Riego. URL: <http://agrimed.wix.com/riego#!evapotranspiracin/c14m5>
- Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. Ingenieros Consultores, febrero 2003. Estudio "Diagnóstico del Riego y Drenaje en Chile" de la Comisión Nacional de Riego. Tomos por Región. URL: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/9326>

Método:

Se realizó la proyección lineal de la información de superficie de uso del suelo por grupos de cultivos anuales y permanentes a escala regional y diferenciada entre riego y seco.

Los resultados obtenidos fueron modificados de acuerdo a juicio de expertos de Odepa, considerando los rubros involucrados, la situación de los mercados y las restricciones agroclimáticas. En términos generales, cuando el resultado de la proyección lineal no era consistente con el juicio experto, se usaban criterios gruesos, como mantener la cifra 2007, o variaciones del 50% o 100%.

Luego se creó un segundo escenario "optimista" incrementado la superficie de riego obtenida en un 15%.

El análisis y cálculo de demandas hídricas se realizó por regiones. Para cada región, se seleccionaron 1 o 2 cultivos representativos por cada categoría de cultivo (los que representaban mayor superficie).

Se calculó para cada cultivo representativo la tasa de riego de acuerdo a la fórmula:

$$TR = ETC - P_{ef} / \text{Eficiencia}$$

Donde:

TR = Tasa de riego por ha (m³/Ha por temporada)

ETC = ETo * Kc (ETc/ETo = Kc)

P_{ef} = Precipitación efectiva (la que le sirve al cultivo; distinta y no es toda la Lluvia)

Eficiencia = Eficiencia ponderada a nivel regional

Las tasas de los cultivos representativos se multiplicaron por la superficie regional, para el caso de 1 cultivo representativo por categoría, o la mitad de la superficie regional cuando se consideraron 2 cultivos representativos por categoría, y se sumaron ambos valores obteniéndose la demanda total de riego regional.

Esto se repitió para cada región y el total representó la demanda total regional al año 2007.

La demanda total a nivel nacional se calculó como la suma de las demandas regionales.



2. Resultados

Proyección del uso de suelos de riego

En términos generales la proyección al 2030 se establece en torno al patrón de evolución que se ha observado en el uso del suelo del sector, cuya tendencia ha sido la disminución de superficie con cultivos anuales y praderas en riego y el incremento de frutales y viñas.

Superficie cultivada bajo riego de los Censos 1997 y 2007 y proyección al 2030 por grupo de cultivos (hectáreas)

GRUPOS DE CULTIVOS	CENSO 1997	CENSO 2007	ESCENARIO 1 2030	ESCENARIO 2 2030
CULTIVOS ANUALES E INDUSTRIALES	335.815	252.494	192.695	221.599
FORRAJERAS ANUALES	49.715	38.722	40.201	46.232
FORRAJERAS PERMANENTES	166.877	135.088	109.767	126.232
HORTALIZAS, FLORES, SEMILLEROS	144.341	127.203	140.262	161.301
VIÑAS	33.187	84.997	139.052	159.909
PARRONALES	16.450	20.113	29.278	33.670
FRUTALES	237.360	327.865	507.470	583.591
TOTAL	983.746	986.481	1.158.724	1.332.533

Fuente: Censos Agropecuarios INE y estimación de Odepa

La principal disminución que se proyecta en el uso del suelo es en cultivos anuales e industriales, lo que se ha observado como tendencia en los tres últimos censos. Cabe señalar que esta disminución de superficie ha venido acompañada por un aumento en los rendimientos, lo que ha permitido mantener la producción. En el ejercicio se suavizó la tendencia lineal observada, de manera que el resultado corresponde finalmente a una mayor superficie que la simple proyección lineal de disminución. Esta opción de método es respaldada por los resultados de la encuesta anual a cultivos anuales (de fuente Odepa-INE), la que muestra una tendencia de estabilización de la superficie en los últimos años.

Los principales aumentos en la superficie se proyectan en viñas y frutales. En el primer caso, se disminuyó la tendencia al aumento en viñas, esto debido a la actual situación de los mercados internacionales, que proyectan una contracción debido a la disminución del consumo. Esto podría alterarse si en Asia se aumentara el consumo de vino, lo que tiene múltiples restricciones, especialmente de hábitos y religiosas. Por lo tanto, si bien se prevé una expansión, esta es limitada básicamente por la estabilización de los mercados mundiales de consumo.

El principal incremento en el uso del suelo se proyecta en frutales. Sin embargo, hay limitaciones tanto climáticas para su expansión hacia el sur como en la disponibilidad de recursos hídricos hacia el norte del país. Un posible escenario que plantea el aumento de las temperaturas debido al cambio climático es que estas condiciones cambien en el sur y se haga factible la producción de frutales de clima más templado. Sin embargo, esta proyección es sólo al año 2030, por lo que no es esperable que esta situación cambie sustancialmente a una escala macro. Por otra parte, si bien hay mercados que puedan absorber una expansión en la producción, se debe considerar que hay países competidores que están desarrollando una industria similar, lo que afecta no sólo en términos de competencia sino también en la dinámica de los precios. Esto limita la expansión de las cifras presentadas.

Con estas consideraciones se presenta el escenario 1. El escenario 2 supone que estas restricciones puedan ser parcialmente superadas, por lo cual se cataloga de optimista.

Superficie cultivada bajo riego de los Censos 1997 y 2007 y proyección al 2030 por región (hectáreas)

REGIÓN	CENSO 1997	CENSO 2007	ESCENARIO 1 2030	ESCENARIO 2 2030
ARICA Y PARINACOTA	6.749	6.231	7.239	8.325
TARAPACÁ	1.682	1.153	848	975
ANTOFAGASTA	2.899	1.814	2.095	2.410
ATACAMA	13.715	19.015	28.424	32.688
COQUIMBO	51.128	67.251	94.151	108.273
VALPARAÍSO	71.715	84.814	121.062	139.221
METROPOLITANA DE SANTIAGO	142.449	131.865	136.251	156.688
LIBERTADOR GRAL. BERNARDO O'HIGGINS	205.211	210.225	257.326	295.925
MAULE	258.090	241.614	270.381	310.938
BIOBÍO	151.935	145.936	140.586	161.674
LA ARAUCANÍA	52.172	52.234	67.562	77.696
LOS RÍOS	9.924	10.213	12.637	14.533
LOS LAGOS	14.084	12.222	16.392	18.851
GRAL. CARLOS IBÁÑEZ DEL CAMPO	1.736	1.152	1.776	2.043
MAGALLANES Y LA ANTÁRTICA CHILENA	256	740	1.992	2.291
TOTAL	983.746	986.481	1.158.724	1.332.533

Fuente: Censos Agropecuarios INE y estimación de Odepa

Demanda de recursos hídricos en agricultura

El cálculo de la demanda de RRHH para los dos escenarios planteados se presenta en la siguiente tabla. En el escenario 1 se requieren 2.237 hm³ respecto a la demanda del año 2007, la mayor parte de ellos concentrados entre Coquimbo y el Maule. Las regiones de O'Higgins, el Maule y Valparaíso son las que presentan la mayor variación de la demanda. En el escenario 2 la demanda extra es de 4.541 hm³.

Demanda de recursos hídricos de los cultivos anuales y permanentes en suelos de riego (Volumen en hm³)

REGIÓN	CENSO 2007	ESCENARIO 1 2030	ESCENARIO 2 2030
ARICA Y PARINACOTA	188	218	251
TARAPACÁ	40	30	34
ANTOFAGASTA	116	134	155
ATACAMA	246	367	423
COQUIMBO	997	1.395	1.605
VALPARAÍSO	1.117	1.594	1.833
REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO	1.677	1.733	1.993
LIBERTADOR GRAL. BERNARDO O'HIGGINS	2.747	3.362	3.866
MAULE	4.080	4.566	5.251
BIOBÍO	1.636	1.576	1.812
LA ARAUCANÍA	257	333	383
LOS RÍOS	3	3	4
LOS LAGOS	6	8	9
GRAL. CARLOS IBÁÑEZ DEL CAMPO	4	7	7
MAGALLANES Y LA ANTÁRTICA CHILENA	14	39	44
TOTAL	13.129	15.366	17.670

Nota: se considera la eficiencia de riego según los datos del Censo 2007

Fuente: CNR-Odepa

Balance de la oferta y demanda de recursos hídricos

En la siguiente tabla se presenta un análisis de la demanda de RRHH en términos de superficie regada y de volumen de agua, para la situación del censo 2007, el escenario 1 y 2 y para la superficie máxima regable, cuya referencia es el estudio "Diagnóstico del Riego y Drenaje en Chile". Se calculan las variaciones respecto a la situación del censo 2007.

También se presenta la disponibilidad de RRHH producto del plan de construcción de embalses y de una proyección del mejoramiento de la eficiencia de riego en el país. Para esta última estimación se proyectó un aumento del 47% para el año 2007 (según estimaciones basadas en los datos del censo agropecuario), al 52%. Como referencia, para el censo de 1997 la eficiencia de riego fue de 42%, es decir en 10 años aumentó 5%.

Los datos indican que, la planificación actual de construcción de embalses cubre casi en su totalidad la demanda en volumen de RRHH proyectada por el escenario 1, quedando sólo un déficit de 347 hm³. En el caso del escenario 2, el déficit es de 2.651 hm³.



Por otra parte, el resultado de la proyección del mejoramiento en la eficiencia de riego, produce también una disponibilidad de agua de riego que, si bien no sufre por sí sola la demanda de agua del escenario 1, contribuye con 1.401 hm³ con respecto a la demanda de RRHH de acuerdo a las cifras de uso del suelo del censo 2007.

Balance de oferta y demanda de recursos hídricos

	SUP. DE RIEGO HA	VARIACIÓN SUP. RESPECTO 2007 HA	RRHH HM ³	VARIACIÓN RRHH RESPECTO 2007 HM ³
DEMANDA DE RRHH				
CENSO 2007	986.481	0	13.129	0
ESCENARIO 1 2030	1.158.724	172.243	15.366	2.237
ESCENARIO 2 2030	1.332.533	346.052	17.670	4.541
SUP. MÁXIMA REGABLE	2.655.400	1.668.919	28.085	14.956
OFERTA RRHH				
PLAN DE EMBALSES	1.177.265	190.784	15.019	1.890
MÁS EFICIENCIA DE RIEGO	1.102.784	116.303	14.530	1.401

Fuente: CNR-Odepa

Los requerimientos de RRHH para satisfacer la superficie máxima regable son mayores e implican más del doble de los requerimientos que señalan los resultados del censo 2007.

3. Recomendaciones

La mayor demanda futura de recursos hídricos se puede absorber en parte con mayor eficiencia a nivel predial y extrapredial. Sin embargo, hay que considerar que la eficiencia a nivel de cuenca es relativamente alta, ya que el agua se reutiliza entre 2 y 3 veces.

Es posible ahorrar agua, dependiendo del cultivo y región, utilizando estrategias como mulch, cortinas cortavientos u otro tipo de cubiertas.

A largo plazo es posible que baje significativamente el costo de desalación por el menor costo de operación de plantas desaladoras con generación fotovoltaica (potencial de 260.000 l/hal con buen clima y pendiente suave en el norte (clase 1 a 4)), esto por el lado de la oferta de RRHH.

El ejercicio realizado podría presentar mayor precisión si fuera trabajado a niveles territoriales menores (provincias o comunas), así como con un mayor detalle de los cultivos (especies). Esto permitiría detallar más los alcances de la demanda y los cambios en el territorio.

Un ejercicio de proyección a más largo plazo debería considerar el cambio climático (como el estudio de Agrimed), que prevea una nueva distribución de cultivos por región y sus tasas de riego. El mejoramiento de la eficiencia de riego a nivel predial y la disminución de la evapotranspiración son factores que se pueden ver afectados por este fenómeno.



Anexo 2

GENERACIÓN DE INFORMACIÓN Y CONOCIMIENTO DE BASE PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

I. Introducción

Mandato

Esta Subcomisión responde al mandato de aportar a la Agenda de investigación, desarrollo e innovación para la Sostenibilidad de los Recursos Hídricos desde la generación de información y conocimiento de base. En este marco, se consideran como objetivos específicos de este trabajo los siguientes:

- Contar con información y conocimiento del recurso hídrico en cantidad y calidad.
- Comprender la ecología del agua y su interrelación con los sistemas productivos y de consumo humano.
- Generación de información y conocimiento del impacto de usos y demandas en términos económicos, sociales y ecológicos.

- Contar con información y conocimiento de modelos de predicción que permitan gestionar la sostenibilidad de los recursos hídricos, considerando clave la relación clima-agua-ecosistema, y la influencia de la variabilidad y el cambio.

En síntesis, es tarea de esta Subcomisión identificar y priorizar la información y conocimiento de base e I+D+i que permitan sustentar, de manera permanente, cualquier acción de I+D+i orientada a la sostenibilidad del recurso hídrico.

Lógica de trabajo

El trabajo de la comisión se organizó distinguiendo, por una parte, la información de base para la gestión del recurso, y luego la I+D+i que permite la comprensión de los procesos hidrológicos y su relación. En este último ámbito, se incorporaron los modelos, reconociendo su importancia como herramienta para comprender las relaciones del sistema y contar con estimaciones del impacto recíproco con actividades humanas y otros procesos naturales.

En las primeras sesiones se abordaron las principales brechas de información y conocimiento de base en torno a: aguas superficiales y subterráneas; calidad del agua, nieves y glaciares y medioambiente; y finalmente, en torno a los procesos de retorno del agua a la atmósfera y al aprovechamiento, usos y demandas.

Una sesión en particular, estuvo dedicada a las necesidades de gestión de información y conocimiento, con foco en el acceso, almacenamiento, calidad y disponibilidad de la información. Luego, se abordaron los modelos determinísticos y estocásticos, y finalmente, las necesidades de I+D+i en torno a los principales procesos hidrológicos.

Dada la experiencia de los miembros y el hecho que cualquier división en aras de la sostenibilidad del recurso hídrico obedece sólo a una manera de organizar el trabajo, en varias de las sesiones surgieron temáticas transversales y otras que estaban dentro del área de trabajo de las otras subcomisiones. En cada caso, la discusión y propuestas que se generaron fueron traspasadas a la comisión —en el caso de temáticas transversales—, y a las mesas de trabajo que estaban operando en forma paralela —en los ámbitos de I+D+i para desarrollo y aplicación tecnologías— para aumentar la oferta y disponibilidad de recursos hídricos sostenibles y de I+D+i para la gestión integral del recurso hídrico, según correspondiera.



II. Sistema de generación de información de base y conocimiento para la sostenibilidad de los recursos hídricos en Chile

En el actual sistema de generación de información sobre los procesos hidrológicos, es posible distinguir los siguientes componentes: redes de medición, inventarios y catastros, bases de datos, estudios básicos e investigaciones. Éstos, en conjunto, determinan la información disponible para la toma de decisiones privadas o públicas sobre recursos hídricos.

A continuación, se describe brevemente cada uno de dichos componentes:

- **Redes de medición:** corresponden al sistema de obtención de información de variables de interés hidrológico en la forma de series temporales de datos (caudales, precipitaciones, calidad de aguas, etc.), realizada en forma regular, con frecuencias definidas y utilizando estándares técnicos que permiten la comparación temporal y espacial de los resultados. Se trata de una actividad de responsabilidad pública, sin perjuicio de que existen iniciativas privadas en el tema, debidas ya sea al interés particular para el desarrollo de ciertos proyectos o actividades, o por exigencias de la autoridad regulatoria competente.
- **Inventarios y catastros:** se refiere al registro ordenado de los diversos elementos del medio físico, biológico y humano que inciden en los procesos hidrológicos y en la gestión y uso de los recursos hídricos. Ellos incluyen aspectos muy disímiles relacionados con la gestión el agua, tales como registros de derechos de aprovechamiento de aguas, obras de infraestructura, pozos de aguas subterráneas, ecosistemas acuáticos, áreas regadas, perfiles estratigráficos y muchos otros. Su preparación es objeto de la acción de un amplio grupo de organismos del Estado, sin perjuicio de que en ciertos casos ellos son preparados por empresas privadas en el marco de proyectos de su interés, o para el cumplimiento de normativas de carácter público.
- **Bases de datos:** los productos de la operación de las redes de medición, y de la preparación de inventarios y catastros, así como los resultados de estudios básicos e investigaciones, para ser accesibles a los usuarios deben ser ingresados a archivos computacionales y puestos a disposición mediante sistemas de información adecuados. Esta actividad es realizada por diversos organismos públicos y otras entidades, tales como centros de información de carácter universitario. Asimismo, es necesario señalar que además, se generan datos que no están asociados directamente a la gestión del agua, y que sin embargo, proporcionan información relevante para ese propósito, como son, por ejemplo, las bases de datos relacionadas con el sistema de evaluación ambiental.
- **Estudios básicos:** La información generada en las redes de medición y en los catastros e inventarios, no siempre es utilizable para la toma de decisiones directamente por un usuario individual. En efecto, para su plena utilización requiere de ciertos productos intermedios, que resulta difícil o muy costoso desarrollar por cada usuario en particular, y que son preparados sobre la base del procesamiento y análisis de los antecedentes disponibles. Es el caso, por ejemplo, del trazado regional de isoyetas, de la preparación de balances hidrológicos a nivel de cuencas, del estudio probabilístico de caudales regionales y de muchos otros. Este tipo de estudios, por estar orientados a la generación bienes de uso público, son el resultado de iniciativas públicas, y usualmente son contratados a empresas de consultoría especializadas o a centros de investigación universitarios.

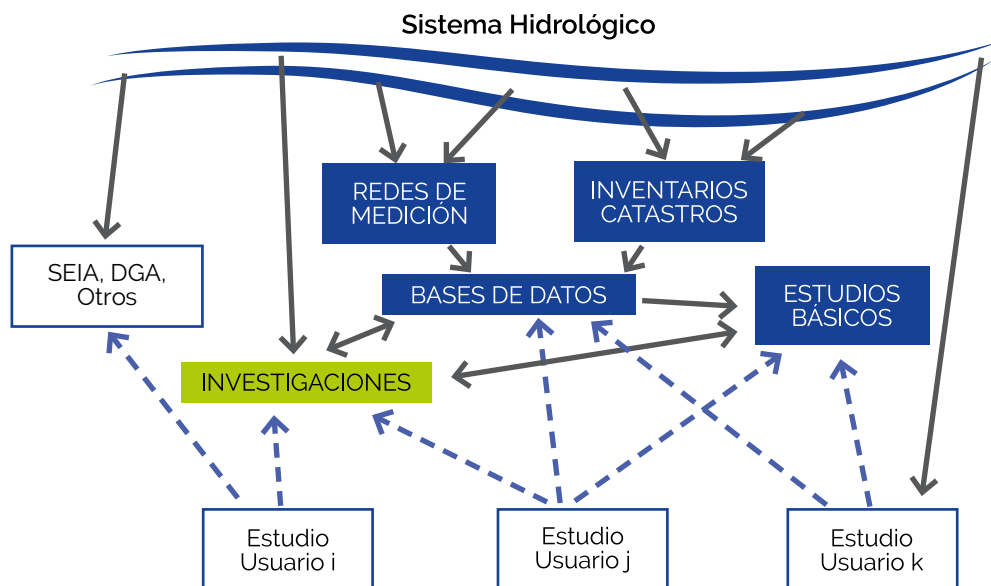
- **Actividades de investigación:** estas actividades, orientadas a incrementar el conocimiento de los sistemas hídricos y de su gestión, se nutren eventualmente del producto de las redes de medición, de los inventarios y catastros, y de los estudios básicos, organizados en las bases de datos, así como de iniciativas desarrolladas por los propios investigadores orientadas a medir y recoger información directamente en terreno. Ellas se realizan principalmente por grupos de investigación de carácter universitario, y, en ocasiones, por la acción directa de organismos públicos, en el marco de los programas públicos que buscan promover la investigación.

La estructura descrita permite a los usuarios y, en general, a los tomadores de decisión relacionados con la gestión del agua —del ámbito público o privado—, realizar estudios específicos para atender sus requerimientos. Dichos estudios son preparados directamente por los usuarios, por los organismos del Estado, por las universidades o por consultores privados a requerimiento de las empresas. Así, los estudios específicos son numerosos —se habla de centenas por cuenca, incluidas modelaciones de aguas superficiales y subterráneas—, y se generan utilizando los productos de las redes de medición, catastros, e inventarios, estudios básicos, resultados de investigaciones y de estudios específicos, organizados en las bases de datos de acceso público. Adicionalmente, tratándose de proyectos de importancia, los estudios específicos en ocasiones consideran la obtención de información de terreno que complementa los antecedentes proporcionados por las fuentes públicas.

En general, los estudios específicos realizados por particulares no son públicos salvo que sean financiados con fondos del gobierno o correspondan a documentos que forman parte de expedientes públicos, lo que además del problema de integración con el conocimiento generado por otros estudios o niveles del sistema, agrega una mayor dificultad de acceso.

En la Figura N°1 se ha representado en forma simplificada el sistema de generación de información y conocimiento descrito.

Figura N°1 Esquema general de adquisición de conocimiento hidrológico para la toma de decisiones.



Institucionalidad asociada a la adquisición de conocimiento

La institucionalidad vinculada con la gestión de las aguas en Chile es amplia y compleja e involucra a organismos muy diversos de distintos sectores públicos y privados del país. Existen 43 actores institucionales en la forma de instituciones, unidades de gestión o grupos de usuarios o de interés involucrados en la gestión de los recursos hídricos en Chile, al centro de las cuales se encuentra la Dirección General de Aguas (DGA). De dichas instituciones un porcentaje importante participa de las diversas actividades asociadas al sistema de gestión de información y conocimiento de base de los recursos hídricos (redes de medición, investigaciones, etc.) y en la generación de I+D+i asociada al agua. A continuación, se hace una breve presentación de dichas instituciones:

- **Dirección General de Aguas:** La DGA, como institución del Estado rectora en materia de recursos hídricos entre sus funciones relacionadas específicamente con la información y conocimiento de dichos recursos tiene las siguientes responsabilidades legales:
 - Art. 299 b) 2. Encomendar a empresas u organismos especializados los estudios e informes técnicos que estime conveniente y la construcción, implementación y operación de las obras de medición e investigación que se requiera.
 - Art. 299 b) 3. Propender a la coordinación de los programas de investigación que corresponda a las entidades del sector público y a las privadas que realicen esos trabajos con financiamiento parcial del Estado.
 - Asociado a lo anterior, debe mantener y operar el Servicio Hidrométrico Nacional y proporcionar y publicar la información correspondiente. Así, debe establecer una red de estaciones de control de calidad, cantidad y niveles de las aguas tanto superficiales como subterráneas en cada cuenca u hoyo hidrográfica (Artículo 129 bis 3 del Código de Aguas).
 - Debe llevar el Catastro Público de Aguas (CPA), en el que debe constar "toda la información que tenga relación con ellas" (Artículo 122 del Código de Aguas). En el reglamento del CPA se identifican 15 archivos, registros e inventarios, los que desglosados constituyen un total de 30 archivos, que cubren prácticamente la totalidad de materias relativas a la gestión del agua (Decreto Supremo N° 1220/1998).
- **La Dirección Meteorológica de Chile (DMC):** organismo responsable del quehacer meteorológico en el país, cuyo propósito es satisfacer las necesidades de información y previsión meteorológica de todas las actividades nacionales. La legislación le encarga la operación de la Red Meteorológica Nacional.
- **El Ministerio de Medio Ambiente (MMA):** genera información y conocimiento del agua en el marco de su rol de la protección y conservación de la diversidad biológica y de los recursos naturales renovables e hídricos, promoviendo el desarrollo sustentable. Además tiene la responsabilidad de generar la información para el desarrollo y vigilancia de las normas ambientales
- **El Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN):** que proporciona información de recursos naturales renovables, la cual ha logrado reunir la mayor base de datos geo-referenciada de suelos, recursos hídricos, clima, información frutícola y forestal que existe en Chile, además del catastro de la propiedad rural.
- **La Corporación Nacional Forestal (CONAF):** bajo su responsabilidad está el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado (SNASPE).
- **El Servicio de Evaluación Ambiental (SEA):** No genera información sobre el recurso, si no que administra información. En el marco de su rol de evaluar y certificar las iniciativas, tanto del sector público como del sector privado, que se encuentran en condiciones de cumplir con los requisitos ambientales que les son aplicables.
- **Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS):** se encarga de la fijación de tarifas por los servicios de agua potable y alcantarillado de aguas servidas que prestan las empresas sanitarias. Además, tiene la facultad de fiscalizar a las empresas sanitarias en áreas concesionadas y a las empresas que descargan Residuos Industriales Líquidos (RILES) a las redes de alcantarillado.

- **Superintendencia de Medio Ambiente (SMA):** posee facultades de instruir y sancionar a los fiscalizados cuando sus descargas de RILES son a los cauces o al mar.
- **Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN):** organismo descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propios, dependiente del Ministerio de Minería (MM) tiene como objetivo asesorar al mismo y contribuir con los programas de gobierno en el desarrollo de políticas mineras y geológicas. En esa calidad, en materias asociadas a recursos hídricos, debe:
 - Elaborar la carta geológica de Chile y las cartas temáticas básicas incluyendo los aspectos hidrogeológicos.
 - Mantener y difundir información sobre los factores geológicos que condicionan el almacenamiento, escurrimiento y conservación de las aguas, vapores y gases subterráneos en el territorio nacional.
 - Recopilar todos los datos geológicos disponibles de uso general y mantener actualizado un Archivo Nacional Geológico y Minero.
 - Requerir información de exploraciones geológicas básicas
- Sernapesca, con sus estudios de carga máxima basados en el estado trófico de lagos.
- Directemar, quien administra el programa POAL en algunos ríos y lagos navegables.
A ellos se suman organismos autónomos asociados a la gestión del agua que generan información de base sobre el recurso para el cumplimiento de sus objetivos propios, y que son:
 - **Las Organizaciones de Usuarios de Agua (OUA):** entidades de carácter privado distribuyen y gestionan las aguas de acuerdo a los Derechos de Aprovechamiento de las Aguas (DAA), las que a su vez comprenden tanto las Juntas de Vigilancia, las asociaciones de canalistas y comunidades de aguas:
 - **Las Juntas de Vigilancia (JdV):** siendo uno de sus roles administrar y distribuir las aguas a que tienen derecho sus miembros en las fuentes naturales.
 - **Las Asociaciones de Canalistas (ASCAN) y Comunidades de Aguas (COMAG):** que reparten la parte de las aguas que le corresponde de una determinada fuente artificial, ya sea canal, acueducto, pozo, u otro.

III. Análisis y propuestas

La subcomisión desarrolló su trabajo en sesiones temáticas, abordando en ellas en primer lugar, un diagnóstico de la situación actual de cada tema hasta cubrir el total de las materias, y posteriormente, realizó propuestas buscando integrar el conjunto de las materias tratadas, definiendo las líneas prioritarias de acción. En este informe, para mayor claridad, los resultados del trabajo se presentan en un orden distinto, organizando los análisis y las propuestas en torno a cada una de las líneas de acción propuestas.

Como se señaló en el capítulo II, las actividades de I+D+i están condicionadas por la existencia de un conjunto de antecedentes básicos sobre los sistemas hidrológicos. Así, en el trabajo de la subcomisión se hizo evidente que para aportar desde la I+D+i a la sostenibilidad de los recursos hídricos, se requiere una base de información que constituye el pilar del sistema y que sólo puede ser provista o asegurada desde el sector público. En esta constatación, la mesa de trabajo decidió abordar esta materia, entendiendo que aunque no forma parte directa del encargo, puede aportar al diseño de políticas públicas que serán clave para el desarrollo de I+D+i en torno a este desafío. Con ese propósito, en el punto A del presente capítulo se hacen análisis y propuestas, dirigidas a las políticas públicas y a los organismos del Estado, que se orientan a generar condiciones habilitantes para la I+D+i.

En el punto B del presente capítulo se entregan los resultados del análisis realizado por la Subcomisión referidos a los posibles aportes de I+D+i en lo que respecta a mejorar las condiciones habilitantes indicadas en el punto A.

Finalmente, en el punto C, se recogen directamente los análisis y propuestas relativas al desarrollo de las actividades de I+D+i en las áreas que la Subcomisión estimó prioritarias.

Condiciones Habilitantes para la I+D+i en recursos hídricos

A continuación, se presentan las categorías de análisis y las propuestas de la subcomisión en este ámbito, en los distintos componentes del sistema de adquisición de conocimiento básico, según lo presentado en el capítulo II.

a) Redes y programas de medición

La mayor parte de la información básica para la realización de estudios e investigaciones se generan a partir de la Red Hidrométrica Nacional (RHN) operada por la DGA, a la que se agrega, como se describió previamente, información de otras instituciones relacionadas con el recurso hídrico, pero que no pertenecen a la RHN, tales como las mediciones asociadas al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, y la red de medición de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), entre otras.

La historia de la RHN se inicia en 1914, con mediciones en el río Huasco en Santa Juana. En 1948 ya comienza a contar con registros continuos y en 1960 se consolida a partir del Proyecto Hidrometeorológico Nacional, apoyado por el PNUD. En la década de los 80', se desarrolla el Banco Nacional de Aguas, sistema informático computacional de procesamiento y almacenamiento de datos hidrológicos, y se rediseñan las distintas redes (fluviométrica, hidrometeorológica, nieves, niveles freáticos, calidad de aguas y sedimentos, lagos) que la conforman, para adoptar la lógica que rige hasta hoy.

A partir de la instalación de la estación satelital de la DGA en 1996, se comienza el proceso de digitalización de la red fluviométrica nacional, el cual culmina en la primera mitad de la década de los años 2000, dejando atrás el instrumental analógico convencional.

Por otra parte, la red de calidad de aguas se ha incrementado en el número de estaciones y en el número de parámetros controlado. Cabe señalar que el diseño original de dicha red estuvo orientado a la caracterización físico-química, y la dimensión medioambiental y de contaminación, se ha incorporado en algunos puntos en forma posterior. En la actualidad la DGA cuenta con 23 estaciones satelitales que aportan información sobre la calidad de las aguas.

Respecto de nieves y glaciares, existe información en la RHN, que empezó a generarse en 1951 con la instalación de ruta de nieves en Portillo (Endesa), luego las rutas de nieve de la DGA en 1963 y el inicio de los controles del Glaciar Echaurren Norte (1976). En la actualidad, la DGA está dotada de la Unidad de Glaciología y Nieves con 6 profesionales, cuenta con 10 estaciones satelitales que aportan información sobre acumulación de nieve, 22 estaciones glaciológicas en cuencas glaciariadas (ver cuadro 1) para llegar a 30 en el año 2018, de nivel 2 (estudio local inensivo orientado al monitoreo de detalle). Desarrollo y optimización de técnicas y parámetros, y 8 puntos de análisis y monitoreo de espesor, volumen y balance de masa en glaciares de las cuatro zonas glaciológicas; Norte (Glaciar Tapado), Centro (San Francisco, Bello, Yeso, y Pirámide), Austral (Campo de Hielo Norte; glaciar Exploradores y Campo de Hielo Sur; glaciar Tindall). En la zona sur aun no se cuenta con puntos. La mesa considera relevante continuar el esfuerzo de monitoreo de estos ocho puntos ya escogidos.

La Subcomisión destaca que en hidrología de montañas es particularmente importante la articulación entre la DGA y la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) para permitir la calibración los diversos sensores y utilizar los estándares de la Organización Meteorológica Mundial, OMM. Un avance en el tema es la consideración de un representante del Jefe de Hidrología de la DGA junto a la DMC, en la interacción con la OMM.

Adicionalmente se controla una red de monitoreo de 16 lagos y existe una propuesta de incorporar 16 lagos adicionales.

En el cuadro 1, se puede apreciar el nivel de cobertura de las estaciones de la RHN en las distintas regiones del país y el número de estaciones satelitales, respectivamente.

Cuadro 1. Estaciones de la DGA por región

REGIÓN	ESTACIONES METEOROLÓGICAS	ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS	RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUAS	ESTACIONES DE NIVEL POZOS	ESTACIONES DE MONITOREO DE NIVELES DE LAGOS Y EMBALSES	ESTACIONES SEDIMENTROMÉTRICAS	MONITOREO DE RUTA DE NIEVES	ESTACIONES GLACIOLÓGICAS	TOTAL
XV	26	19	26	32	1	1	0	0	105
I	26	13	24	61	0	1	0	0	125
II	40	32	32	46	1	3	0	0	154
III	29	27	60	86	2	3	0	0	207
IV	66	48	78	116	7	8	6	1	330
V	62	22	68	123	1	8	3	0	287
RM	46	22	63	102	3	5	6	7	254
VI	29	19	51	83	2	2	1	1	188
VII	62	59	76	4	9	5	1	0	216
VIII	73	74	78	23	7	10	4	0	269
IX	54	41	55	7	4	10	0	0	171
XIV	22	17	62	5	6	2	0	0	114
X	38	35	57	3	6	1	0	0	140
XI	40	37	43	0	5	6	0	10	141
XII	70	42	56	0	14	8	1	3	194
	683	507	829	691	68	73	22	22	2895

Fuente: Atlas del Agua, DGA 2016

A la RHN es necesario agregar, en lo relativo a variables hidrometeorológicas, el aporte de las estaciones de la DMC que aunque tienen menos información respecto del agua, son más antiguas y contienen otras variables. Además, se reconoce que existe mucha información ocasional y dispersa generada para distintos fines en distintos organismos como la SISS, el SEIA, Minsal, SAG, INIA, etc.

En términos de calidad de aguas, la DGA cuenta con una red de monitoreo de 829 puntos, lo que incluye la medición trófica en 21 lagos. Además, el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) se ha convertido en otro actor del sistema, complementando a la DGA con estaciones en algunas cuencas o apoyando en algunas mediciones específicas como las de nitrógeno y fósforo. El foco del MMA es el tema trófico: nutrientes, clorofila y toxinas y parámetros donde existen importantes problemas en la actualidad. Asimismo, cuenta con 3 sistemas de seguimiento satelital: Vichuquén, Troca y Budi que prestan servicios y revelan la condición general del recurso.

A pesar de que en densidad y procedimientos, Chile responde bien a las normas internacionales establecidas (por ejemplo, la cobertura de las estaciones fluviométricas satelitales en el país corresponde a los porcentajes recomendados en la experiencia internacional), es claro que existen déficits para alcanzar el nivel de información que el país requiere atendido su actual nivel de desarrollo y la naturaleza de los problemas de gestión que debe enfrentar, incluidas las actividades de I+D+i. Además, la Subcomisión hizo presente la escasa coordinación entre DGA entre las instituciones del Estado y otros actores, tales como los centros de I+D, las universidades, las juntas de vigilancia, la DMC.

En relación con las redes de medición, la Subcomisión identificó los siguientes aspectos que resultan críticos y debieran ser atendidos por las políticas públicas para un adecuado aprovechamiento de las posibilidades que ofrecen las actividades de I+D+i:

Desarrollo de redes para gestión de calidad de agua y contaminación, e indicadores biológicos de calidad ambiental:

En relación con esta temática, las actuales redes presentan un grave retraso, considerando que ellas fueron concebidas para una caracterización físico-química de las aguas naturales y no para la gestión de la calidad de las aguas y el control de la contaminación. Sin perjuicio de lo anterior, se han experimentado importantes avances en el monitoreo de lagos, priorizando el muestreo en profundidad e incorporando los afluentes y efluentes, además de la componente fitoplanctónica. En esta materia, un inconveniente mayor ha sido el extremadamente lento ritmo de formulación de las normas de calidad secundarias en cauces y lagos, proceso que tiene asociado la implementación de la red de calidad de aguas para su cumplimiento. Así, estas redes en la actualidad adolecen de serias limitaciones en lo relativo a su localización espacial, parámetros bajo control, procedimientos y frecuencias de muestreo (incluida la ausencia de registros continuos). Asimismo, se ve la necesidad de desarrollar un programa de monitoreo con indicadores biológicos que permitan hacer un seguimiento de la condición ambiental de los cuerpos de aguas.

Otro avance a considerar es la acreditación bajo norma ISO 17.025 del laboratorio ambiental de la DGA. De esta forma, las muestras y los parámetros medidos en dicho laboratorio cumplen con los estándares que aseguran su confiabilidad.

Fortalecimiento de redes existentes (fluviométricas, nieves, etc.):

Respecto de los parámetros habituales para medir el recurso hídrico que se ingresan al sistema, aunque existen deficiencias estas no son críticas. Todos los servicios que toman datos en Chile han elevado su estándar y cumplen con exigencias y protocolos de la OMM. No obstante lo anterior, existe distinta calidad de estaciones en relación a sus estándares, y a veces dificultades de que se mantengan en el tiempo. Asimismo, las restricciones de presupuesto público, particularmente en el ítem viáticos han disminuido la frecuencia de las mediciones en algunos periodos y esto ha afectado la continuidad de los datos. Además, este es un tema en el que las exigencias de cobertura y calidad de la información se han incrementado, por la necesidad de atender problemas cada vez más complejos y que requieren mayor precisión en los datos. La necesidad de medición meteorológica de altura para predecir cambios y hacer pronósticos, cuantificación de sedimentos (erosión, sedimentación) y ampliar la cobertura de la red de medición de nieves para hacer pronósticos con menos incertidumbre.



En este contexto, la subcomisión estima necesario que se impulse un programa de reforzamiento de las actividades de medición existentes, considerando tanto los aspectos de calidad como de cobertura. Respecto de este último tema, es necesario destacar que algunos estudios estiman las necesidades de ampliación en estaciones hidrometeorológicas y de nieves en un 35%, pluviométricas en 30% y las fluviométricas en un 20% (McPhee, 2014)¹².

Establecimiento de un sistema de medición de extracciones de aguas superficiales y subterráneas, mediante acción coordinada pública-privada.

La Subcomisión coincidió, en que la mayor limitación de las redes de medición en lo relativo a los aspectos cuantitativos, está en la ausencia de medición de las extracciones de agua para su aprovechamiento y de una integración de la información de usuarios y otras fuentes a las bases de datos, lo que impide el adecuado cierre del balance hidrológico a nivel de cuencas y subcuencas. En Chile, los usuarios no están obligados de informar respecto de los usos, y cuando esta información existe, muchas veces no está normalizada. En este tema se considera que existe un déficit crítico que debiera superarse con políticas que integren los esfuerzos públicos y privados. Un área especialmente atractiva en ese sentido es el monitoreo de las aguas subterráneas. Al respecto se estima que incorporar sensores de nivel en 100 mil pozos, implica una inversión de alrededor de 500 millones de dólares (menos que un embalse), con costos de gestión de datos de 25 millones de dólares por año, que podrían realizarse con el apoyo de los privados.

Es importante señalar que la DGA en el último tiempo ha ejercido sus atribuciones de exigir a distintos usuarios la instalación de sistemas de control de extracciones, especialmente de aguas subterráneas, asociado a un protocolo estandarizado de envío de información a través de una plataforma especialmente diseñada, lo que será sujeto a fiscalizaciones aleatorias". Referencia: Resolución DGA N° 2129 (Exenta) del 29 de julio del 2016.

Una componente especialmente relevante dentro de las extracciones de aguas en ciertas cuencas, son las "aguas halladas", cuya falta de información genera incertidumbre en otros usuarios y posibles fuentes de conflictos.

Síntesis de las propuestas:

- Desarrollo de redes para gestión de calidad de agua y contaminación, e indicadores biológicos de calidad ambiental.
- Fortalecimiento de redes existentes (fluviometría, aguas subterráneas, nieves, glaciares etc.).
- Establecimiento de sistema de medición de extracciones de aguas superficiales y subterráneas, mediante acción coordinada pública-privada.

b) Inventarios y catastros

En esta materia, la Subcomisión identificó un importante déficit de conocimiento básico en ciertas áreas, lo que resulta crítico para la gestión del recurso hídrico, así como para las actividades de I+D+i que es necesario impulsar para superar los desafíos que se presentan.

En particular estableció la existencia de las siguientes 6 brechas que requieren una atención prioritaria:

12 McPhee, James (2014). Preparación del Plan de Desarrollo Institucional de los Recursos Hídricos de Chile. Mejoramiento del Sistema de Información. Informe elaborado para la DGA

- Catastro de derechos de aprovechamiento y usos de agua:

Considerando que los derechos de aprovechamiento de agua son la piedra angular del sistema de aprovechamiento de las aguas, su conocimiento detallado y actualizado resulta indispensable para un conjunto importante de decisiones de gestión, así como para el desarrollo de investigaciones de variada naturaleza. Sin embargo, tanto por razones relativas a las capacidades de los organismos públicos como a otras de carácter legal, en la actualidad aún existe un importante déficit en el tema. De ese modo, la preparación de un catastro completo de los derechos de agua del país es una tarea que debiera tener una elevada prioridad.

- Catastro de pozos de aguas subterráneas (ubicación, caracterización, calidad de aguas):

En particular respecto de los pozos de aguas subterráneas existe un registro casi completo de los autorizados en diversos acuíferos, pero no se sabe si siguen activos o no, y estos registros no consideran los pozos clandestinos que son muchos. De hecho, se estima que cada 1000 pozos legales existen 2000 ilegales, y otras estimaciones incluso hablan de que solo el 20% de los pozos son legales, coincidiendo en que éstos van a seguir aumentando en la medida que aumente la escasez de agua.

- Información sobre áreas de riego:

El conocimiento detallado de las áreas regadas, métodos de riego y tipo de cultivos es información crítica para una adecuada evaluación de los recursos hídricos y de su uso. También la información sobre sistemas de riego puede ser usada para generar estimaciones de infiltración. En materia de información de aguas relacionada con el sector agrícola, CIREN es un actor clave. Genera información de uso agrícola del agua desde los catastros frutícola y hortícola que cubren prácticamente el 100% del uso de este sector. Esta información se chequea satelitalmente y además en terreno, y se levanta todo lo que tiene cada predio, sin embargo, no se está haciendo uso de esta información en forma detallada para realizar análisis, sino solamente en forma agregada.

Así, existe información al respecto, pero falta ampliar el detalle respecto de tipos de cultivos y la frecuencia de mediciones, para disponer de antecedentes sobre los cambios temporales. Además, existe una restricción desde la cláusula de secreto estadístico que impone el INE, y que en la práctica hace que ODEPA pague 2 veces el levantamiento, al INE como censo y a CIREN como catastro —aunque este último es en realidad un barrido completo—.

Además, existe información hidro-forestal a través de INFOR, CONAF e incluso va a existir sobre bosque nativo en 2 años más.

- Inventario de humedales:

En relación a los humedales, que se define según la Convención de Ramsar, que Chile suscribe desde 1981, se entiende como: "Las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros". En este sentido, el MMA lleva el catastro nacional de humedales desde el 2007, habiendo cubierto los costeros y los altoandinos, pero no así los de montaña que son muy críticos para la población. La información sobre humedales es clave para evaluar recursos hídricos, efectos de cambio climático y desastres naturales. Hoy contamos con una plataforma digital que abarca 45 humedales, con 33 en seguimiento continuo, y a la que se incorporarán 16 humedales costeros, este año. Las mediciones se realizan en noviembre y marzo, cuando se inician los procesos de eutroficación y desarrollo de algas tóxicas.



- **Inventario de glaciares cubiertos y rocosos:**

En relación con estas formaciones, hay información suficiente sobre los glaciares blancos, pero no así sobre glaciares cubiertos y aquellos rocosos y, en particular sobre sus características que resultan importantes para evaluar su real impacto en el ciclo hidrológico, tales como el espesor y la naturaleza de su cobertura detrítica y si están o no activos.

En efecto, desde 2009, la DGA cuenta con una Estrategia Nacional de Glaciares (DGA, S.I.T. 205, 2009) y a partir de este mismo año, incorporó técnicas de medición en base a sensores e imágenes satelitales de alta calidad (por ejemplo Landsat 8 —gratuitas—, levantamiento LiDAR aéreos) que han permitido realizar balances de masas geodésicos, medición de líneas de equilibrio (nieve v/s hielo) y modelos de densidad en nieve/neviza/hielo.

De acuerdo a la DGA existen 5 clases de glaciares en Chile (Referencia Boletín N° 9364-12): Campos de hielo, Glaciares de valle, Glaciares de montaña, Glaciares rocosos, y Glaciaretas". En la actualidad la DGA en su Inventario Nacional de glaciares ha censado 24.114 glaciares, que están clasificados y disponen de una estimación de su porcentaje de hielo y sus dimensiones principales. Este inventario se basa en normas técnicas y recomendaciones internacionales relativas a cómo realizar un inventario de glaciares.

Sin embargo, a nivel de glaciares cubiertos y glaciares rocosos, en que parte de la superficie esta cubierta de detritos y en el caso de los glaciares rocosos existe en profundidad una mezcla entre sedimentos y hielos, no se conoce el porcentaje de hielo, ni tampoco si son o no activos. Además, en el inventario no están todos censados, por ejemplo no están los de Petorca, entre otros en el norte⁴. De hecho, en todo el censo, sólo existe un estudio de los porcentajes de hielo y aunque esta información podría rescatarse del Sistema de Evaluación Ambiental (SEA) y la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), la dificultad reside en que se encuentra dispersa y desagregada. Al respecto, la Subcomisión plantea que se debe asegurar que la información que exige el SEA y SMA nutra la red de monitoreo de glaciares, lo que supone que exista un instructivo y protocolos que clarifiquen lo que requiere el titular para la presentación de proyectos al SEA cuando hay presencia de glaciares en general.

- **Geometría basal de contacto roca/relleno en acuíferos:**

La información acerca de la geometría del contacto roca/relleno en los acuíferos del país, constituye un antecedente relevante para la adecuada comprensión, evaluación y modelación de las aguas subterráneas, sin embargo en la actualidad se trata de información que es muy escasa o inexistente y se encuentra dispersa en informes parciales. Además, su generación supone la realización de trabajos geofísicos, que en general no es posible realizar a nivel de los usuarios individuales. Así, se considera necesario que desde el ámbito público se avance en forma sistemática en la preparación de planos que recojan y amplíen el conocimiento de esa geometría basal y la recarga asociada, que estén a disposición de los interesados.

Síntesis de las propuestas:

Desarrollar planes referidos a cubrir brechas en:

- Derechos de aprovechamiento y usos del agua
- Pozos de aguas subterráneas (ubicación, caracterización hidrogeológica y calidad del agua).
- Áreas de riego
- Humedales (en particular humedales de montaña)
- Glaciares cubiertos y rocosos
- Geometría basal de contacto roca/relleno en acuíferos

c) Plataformas y acceso a la información

Las brechas en relación con el conocimiento básico de los sistemas hidrológicos se refieren por una parte a la generación de información y, por otra, a la gestión de dicha información. En este aspecto, resulta clave el adecuado funcionamiento del Catastro Público de Aguas (CPA) que encarga la legislación a la DGA (artículo 122 del Código de Aguas).

De acuerdo al reglamento del CPA, sus componentes incluyen: i) registro público de organizaciones de usuarios, ii) registro público de derechos de aprovechamiento de aguas, iii) registro público de roles provisionales de usuarios, iv) registro público de solicitudes, v) registro público de vertidos de riles en fuentes naturales de aguas, vi) inventario público de obras hidráulicas, vii) inventario público de información hidrológica y meteorológica, viii) inventario público de obras estatales de desarrollo del recurso y reservas de agua, ix) inventario público de extracciones efectivas de aguas, x) archivo público de jurisprudencia administrativa y normas de calidad de agua, xi) archivo público de estudios e informes técnicos.

Estos registros, inventarios y archivos se manejan a través del sistema de gestión interno de información, el Centro de Información de Recursos Hídricos (CIRH), en base a un modelo que depende fuertemente de los archiveros en distintas unidades y de los convenios con instituciones que emiten certificados de derechos de aprovechamiento (por ejemplo, los conservadores de bienes raíces, juzgados, CONAF, etc.). Parte del problema actual, es que no siempre hay archiveros de dedicación completa a la función en las diferentes unidades, ni tampoco en las regiones, todo lo que redundaría en la confiabilidad del ingreso de datos. Además, se observa la falta de protocolos, la falta en la definición de responsables y mecanismos para actualizar el CPA, la ausencia de uniformidad en el formato de la información de administración de aguas en las direcciones regionales y la baja capacidad institucional de emprender iniciativas de regularización. A esto se suma, los limitados recursos humanos de las direcciones regionales de la DGA.

Algunas de estas brechas, identificadas hace 2 años, se espera que sean superadas por el desarrollo de un nuevo sistema de manejo de la información en desarrollo, el Sistema Nacional de Información de Aguas (SNIA), cuyo objetivo es disponer de información actualizada y confiable, a través de mecanismos tecnológicos que permitan su amplia difusión, acceso oportuno y utilización por parte de todos los actores que participan de la gestión hídrica del país. Más que un sistema, se trata de una plataforma que resuelve problemas, permitiendo acceder a información actualizada y confiable. Esta iniciativa aborda problemáticas tales como: plataformas sin soporte o actualización, desarrollos bajo diferentes estándares tecnológicos, control de versiones, administración e integralidad de la información aislada, interoperabilidad entre sistemas, costos de mantenimiento, complejidad para la consulta, etc. Esta plataforma tecnológica cuenta con dos pilares que mezclan orientación a servicios y administración de servicios, el SOA (arquitectura orientada a servicios) y BPM (administración de procesos de negocio), respectivamente. Sus componentes son: i) Sistemas en funcionamiento: gestión de solicitudes de aprovechamiento de aguas, sistema de gestión de muestreo de calidad, estadísticas hidrológicas en línea (más de 200 estaciones), gestión de solicitudes de fiscalización, estado de tramitaciones y expedientes vía web; ii) Sistemas en proceso: gestión de proceso de mantenimiento de datos, banco nacional de aguas (procesamiento de datos SOA), mapa de solicitudes, visualización gráfica de solicitudes, sistema de control de extracciones, y iii) Sistemas aún no apagados: catastro público de aguas, banco nacional de aguas (Legacy), recepción satelital.

El beneficio esperado de esta iniciativa es la disminución de los tiempos de los distintos roles, en particular el ingreso de datos desde el inicio de gestión de solicitudes, la generación colaborativa de documentos oficiales de DGA, la consulta en línea de la información, la mejora de tiempos de respuesta a requerimientos ciudadanos, la coordinación interna de la DGA, la optimización y el apoyo de procesos estratégicos.

Los avances del sistema han permitido hacer disponible a los ciudadanos información en línea, permitir la optimización de procesos de nuevos derechos (para reducir expedientes), la generación de expedientes digitales integrados al proceso de gestión, la integración en línea con plataforma GIS y la incorporación de tecnología de transmisión.

Los desafíos pendientes se refieren a la integración de un nuevo sistema de derechos concedidos, implementación de sistema de gestión de extracciones con mediciones en línea, hacer disponible la información de calidad de agua, involucramiento de las áreas de negocios en el proceso de desarrollo y mejora del sistema, apagado de sistemas legacy, y publicación de información de mediciones glaciológicas.

Más allá de estos avances orientados a mejorar el CPA, la subcomisión identificó los siguientes temas que resulta necesario impulsar para la adecuada gestión de los recursos hídricos y el desarrollo de las posibilidades asociadas a las actividades de I+D+i:

- Creación de plataformas que integren la información registrada por diversas agencias públicas:

Uno de los principales problemas detectados en materia de información detectados es la alta dispersión de la información estadística y de los diversos datos de que registran diversas agencias públicas. Asimismo, respecto de las investigaciones, Chile no cuenta con un sistema que consolide la información científica generada con fondos públicos y la haga disponible para los distintos actores. Al respecto, a pesar que el Código de Aguas en su Art. 299 b) 3 entrega a la DGA la atribución de "Propender a la coordinación de los programas de investigación que corresponda a las entidades del sector público y a las privadas que realicen esos trabajos con financiamiento parcial del Estado.", esto no ha podido materializarse hasta la fecha. Así, surge la urgente necesidad de que la DGA ejerza su atribución de coordinación tanto de la investigación generada con fondos públicos como de los sistemas de información operados por las distintas instituciones del Estado (DGA, DMC, CNR, SERNAGEOMIN, MMA, etc.) y centros de I+D de universidades.

- Desarrollo de un sistema nacional de información que aproveche la capacidad de los usuarios de generar antecedentes:

En línea con lo señalado en a1) sobre la necesidad de coordinación público-privada en materia de redes de medición, se hace necesario desarrollar sistemas de bases de datos que permitan integrar la información generada por los distintos usuarios del agua, particularmente en el tema de extracciones. Asimismo, es crucial integrar información generada por otros actores en relación con variables de calidad y medioambiente, por ejemplo, información generada por las evaluaciones de impacto ambiental (EIA) para propósitos de vigilancia y fiscalización de la contaminación, o de mini redes de privados y universidades para sistemas de alerta temprana o de los usuarios de nuevos pozos para aguas subterráneas a partir de los análisis físico-químicos que se les exige realizar. En esta misma línea, por ejemplo, se podrían aprovechar los análisis isotópicos en hidrógeno y oxígeno para la caracterización de aguas subterráneas y superficiales, aprovechando que la industria forestal debe contar con análisis isotópicos por reglamentación internacional (certificación Federal Communication Commission, FCC).

- Coordinación a nivel local de entidades que generan información y conocimiento, y creación de plataformas para la GIRH de acceso público:

Otro de los problemas reconocidos es la necesidad de coordinar, validar y organizar localmente, a nivel de la cuenca, la información generada por las distintas fuentes. Al respecto se estima que es imposible contar con bases de datos confiables si no se asegura que la toma de datos a nivel de cuenca esté manejada por especialistas radicados en la zona, y que conozcan detalladamente el terreno. Además, es necesario que las diversas fuentes de datos sean consistentes entre sí y busquen complementarse. Para ello, se requiere de una estructura de coordinación local entre los servicios públicos y las instancias académicas y privadas proveedoras de datos, con una plataforma pública de información que permita una gestión integral de los recursos hídricos en las cuencas, a través de procesos más efectivos, que sean apoyados por las ciencias sociales.

Síntesis de las propuestas:

- Creación de plataformas que integren la información registrada por diversas agencias públicas
- Desarrollo de un sistema nacional que aproveche la capacidad de los usuarios de generar información.
- Coordinación a nivel local de entidades que generan información y conocimiento, y creación de plataformas de acceso público, para la GIRH.

d) Estudios básicos

La segunda capa del sistema de información descrito corresponde a los estudios básicos. Como se ha indicado, ellos deben dar cuenta de la necesidad de tener estudios generales que integren los resultados de las redes de medición y de los catastros, tanto para la preparación de políticas y la toma de decisiones generales en el ámbito público, como para el desarrollo de estudios específicos, labor que no se justifica desde la perspectiva de un usuario individual. Este tipo de productos proviene principalmente de la DGA y de otros organismos públicos especializados (por ejemplo, Sernageomin en lo relativo al conocimiento geológico).

El análisis de la Subcomisión concluyó que los estudios básicos son escasos y en general antiguos, y la mayor parte de la información generada está dispersa y no integrada en estudios generales. A modo de ejemplo se puede señalar que el Balance Hídrico de Chile, que cubre el período de 1951 a 1981, aún no se ha actualizado, a lo que se suma que dicho período se caracterizó por la abundancia de lluvias, lo que no representa la situación actual en algunas cuencas.

De acuerdo al análisis realizado, se identificaron los siguientes temas específicos en los que se requiere en forma prioritaria la preparación de estudios básicos, para el aprovechamiento de la información hidrológica obtenida en el país:



- Actualización/desarrollo del balance hídrico a nivel nacional y de cuencas

Como se ha indicado, el Balance Hídrico de Chile, no obstante constituir un pilar clave para la realización de la gran mayoría de los estudios específicos de recursos hídricos en el país, responde a las series estadísticas disponibles hace 30 años. Es por esto que, la actualización del Balance Hídrico Nacional es un tema de máxima prioridad para la DGA, razón por lo cual el 30 de Agosto del presente se dio inicio a dicho estudio (Referencia: Resolución DGA N° 2430 del 2016).

- Procesamiento básico de registros estadísticos de variables hidrológicas.

El aprovechamiento por los usuarios de la información masiva generada en redes y labores de catastros y otros de ese tipo, frecuentemente requiere disponer de procesamientos estadísticos básicos desarrollados en forma estándar. En general, no resulta factible que esta labor sea desarrollada por los interesados (incluidas las actividades de I+D+i) en forma individual, de modo que se produce una subutilización de la información existente.

- Línea de base ambiental

La condición ambiental de los ecosistemas acuáticos continentales emplazados en distintas cuencas del territorio, determina un importante número de decisiones relativas a la regulación de los usos de dichos ambientes y a la factibilidad y características de los proyectos productivos que allí se emplazan. Esta situación condiciona la habitabilidad y la salud de los ecosistemas, a través de las modificaciones hidromorfológicas de las que son blanco. Entre otros se sugiere poner especial atención en evaluar, el transporte de sedimentos y como este afecta a los hábitats disponibles para las especies a y la calidad del agua.

Los estudios básicos e investigaciones sobre agua y medioambiente están dispersos y son generados principalmente por universidades y empresas a propósito de las EIA. De hecho existen muchos estudios e investigaciones al respecto, pero no están disponibles y no se cuenta con una plataforma que permita almacenarlos y facilitar su uso, ni con una normativa que permita aprovechar la información generada por los privados.

Entre otros temas, lo anterior supone disponer de un conocimiento básico de la calidad de sus aguas y de los eventuales procesos de contaminación existentes. Al respecto, el avance en el país ha sido lento. Por ejemplo, hace 10 años se priorizó la preparación de 14 normas secundarias de cuencas principales, instrumento clave en el tema, sin embargo, a la fecha solo se han aprobado 6, e inclusive los criterios normativos han sido motivo de reiterados cambios. De igual forma, las características, estado, y objetivos de conservación de los ecosistemas es una materia que, en general, no está definida en las cuencas del país.

Síntesis de las propuestas:

- Actualización/desarrollo del balance hídrico a nivel nacional y de cuencas.
- Procesamiento básico de registros estadísticos de variables hidrológicas.
- Línea de base ambiental

Investigación, desarrollo e innovación en nuevas técnicas de medición y obtención de información

Las actividades asociadas a la obtención de información básica que desarrollan organismos públicos, pueden ser objeto de mejoramiento sustantivo incorporando nuevas técnicas. A ese respecto, los centros públicos y privados de investigación y desarrollo pueden aportar un gran servicio a la innovación en las técnicas de medición y obtención de información que permiten generar las condiciones habilitantes que se abordaron anteriormente. En esta materia, la Subcomisión identificó las siguientes 4 áreas en las que dichos aportes pudieran ser de gran interés:

a) Uso de sensores remotos

El uso de sensores remotos para el estudio de los recursos hídricos, ha tenido un gran desarrollo en las últimas décadas a nivel mundial ha sido una tremenda utilidad para la investigación y gestión del agua en el país. La Subcomisión plantea que se debería ampliar los registros, aprovechando imágenes satelitales y fomentar una política de alianza de la DGA con universidades, Fuerzas Armadas, entre otros, bajo una normativa común. Además, se considera que tendría interés el aporte en I+D+i en los siguientes temas:

- Nieves y hielos: Se considera de interés para el control de variables tales como cobertura de nieves, línea de nieves, procesos de deshielo, características y espesores de nieve acumulados, características y evolución de glaciares, superficies con cobertura detrítica, entre otros.

La DGA hace uso de percepción remota en las características y evolución de los glaciares, estudio sobre variaciones frontales utilizando imágenes sobre más de 140 glaciares de todo el país, como el trabajo actual realizado con Landsat 8, que corresponde a un monitoreo continuo en constante actualización. Además, se dispone de equipos especializados para realizar mediciones geofísicas remotas, tales como los radares GSSI y VHF con antenas de baja frecuencia para medir espesor de hielo. También se dispone de un escáner láser terrestre (Riegl) con los cuales realizar modelos digitales de elevación (DEMs) para determinar cambios de elevación en base a mediciones geodésicas.

En este sentido, sobre la cobertura de nieves, línea de nieves y espesores de nieve acumulados, el MODIS tiene un sensor que determina en 2D la cobertura nival a 500 m utilizando un algoritmo normalizado (NDSI). Dicha grilla ha probado ser demasiado gruesa para las cuencas chilenas, el que además es un sensor óptico que no provee información en 3D sobre el espesor de nieve acumulada, siendo requerida información complementaria para determinar su equivalente en agua (SWE). Para el uso de percepción remota en los procesos de deshielo, en general, imágenes de 30 m tamaño de pixel son demasiado gruesas para realizar mapas de albedo distribuido.

- Evapotranspiración (ETR) real: Las posibilidades actuales de estas técnicas permiten avanzar en la determinación del consumo de agua efectivo de cultivos y vegetación natural a nivel de cuencas y microcuencas.
- Evaporación desde el suelo sin vegetación y desde salares: la información de sensores remotos puede ser utilizada para evaluar la evaporación a nivel de superficies tales como salares y suelos húmedos, componentes críticos del balance hídrico en zonas áridas.
- Aplicación a temas diversos relacionados con el seguimiento de las condiciones ambientales en ríos, lagos y otros humedales.

Por otro lado, las imágenes satelitales, los sensores remotos y el biomonitoreo no se han desarrollado lo suficiente para medir la calidad del agua. Asimismo, para detectar agua subterránea las imágenes satelitales no cuentan con la precisión suficiente, dadas las características de estrechez de nuestras cuencas y valles transversales de la zona norte. Sin embargo, se trata de limitaciones que posiblemente serán superadas parcialmente con el desarrollo de las técnicas.

Síntesis de las propuestas:

Desarrollo del uso de sensores remotos, especialmente para aportar en la medición de:

- Nieves y hielos
- Evapotranspiración (ETR) real
- Evaporación desde el suelo sin vegetación y salares
- Aplicación en ríos, lagos y otros humedales.

b) Indicadores biológicos para la evaluación de la calidad ambiental.

El análisis señaló la conveniencia de incorporar indicadores biológicos a los programas regulares de monitoreo de los recursos hídricos. Dichos indicadores —a diferencia de otras variables que forman parte del sistema de generación de información—, tienen un componente de investigación relacionado con la determinación de las técnicas y especies más apropiadas para comprender fenómenos asociados a la sostenibilidad de los recursos hídricos.

Síntesis de las propuestas:

- Desarrollo de indicadores biológicos para la evaluación de la calidad ambiental.

c) Trazabilidad y acreditación de la información del Estado y terceros.

La propuesta de ampliar e integrar antecedentes generados por fuentes de carácter privado a los obtenidos por diversos organismos públicos, genera la necesidad de desarrollar criterios y procedimientos para gestionar la toma de datos y procesos de validación que garanticen técnicamente la información generada. Asimismo, surge la necesidad de dar trazabilidad a los datos incorporados a los sistemas de información. Para ello, se requiere I+D+i que permita definir protocolos y estándares que aseguren la calidad de los datos y la confiabilidad del sistema.

Síntesis de las propuestas:

- Desarrollo de las funciones de trazabilidad y acreditación de la información de información del Estado y terceros.



d) Uso de técnicas isotópicas, geoquímica y biología molecular

En Chile, se presentan condiciones excepcionales para la utilización de técnicas isotópicas y geoquímica en la investigación de recursos hídricos, debido a la extensión de sus zonas áridas, a la fragmentación de las cuencas y a la importancia de las interacciones entre las aguas superficiales y subterráneas. Asimismo la biotecnología nos ofrece desde el desarrollo de biosensores hasta el estudio de la biodiversidad genética y las interacciones entre organismos. No obstante lo anterior, se trata de técnicas poco desarrolladas en el país y constituyen una brecha importante en I+D+i, siendo además importante la formación de investigadores en estas áreas.

Síntesis de las propuestas:

- Desarrollo de capacidades para el uso de técnicas isotópicas, y métodos geoquímicos y de biología molecular.

Desarrollo de I+D+i en áreas prioritarias

Para abordar la preparación de estas propuestas y la discusión de las necesidades de I+D+i, la mesa analizó los procesos asociados a las fases del ciclo hidrológico y luego los modelos, tanto determinísticos como estocásticos, requeridos para la predicción. Dicho análisis se realizó en consulta tanto con los miembros de la Comisión como con otros investigadores que fue posible contactar. Las consultas realizadas se refirieron a identificar las materias que resultaba de importancia profundizar o desarrollar en el país, sobre la base de una clasificación general de los procesos o modelos habitualmente considerados en la investigación de los recursos hídricos.

En las tablas N° 1 y 2 se entrega la clasificación de procesos y modelos utilizados en la consulta.

El análisis de conjunto de las áreas y materias propuestas por los especialistas consultados, llevó a la conclusión que la manera más apropiada para abordar las actividades de I+D+i en torno a estos desafíos era potenciando 5 programas de investigación con las siguientes características:

- Programas con un enfoque integral acerca de una temática determinada. Ello significa que no corresponden a investigaciones aisladas, sino que, por el contrario, corresponden a un conjunto coherente de materias orientadas a resolver una limitación definida del conocimiento de los recursos hídricos del país.
- Son programas concebidos con una perspectiva de mediano y largo plazo, considerando que se trata de resolver problemas estratégicos que comprometen la adecuada gestión de los recursos hídricos en ese marco temporal.

Sin perjuicio de que las investigaciones necesariamente se desarrollan en cuencas particulares, se tratan de programas nacionales, ya que responden a desafíos que comprometen al país en su conjunto, y deben congregar recursos en esa escala.

Para asegurar que los programas se orienten permanentemente a resolver los desafíos estratégicos del país en materia de recursos hídricos y sean efectivamente aplicados, se estima que ellos deben mantener una estrecha y permanente relación con los organismos públicos especializados y desarrollarse bajo la tutela de la autoridad encargada del sector. Lo anterior, se estima necesario debido a que, en la actualidad, muchas investigaciones no están vinculadas con las necesidades de conocimiento útil para la toma de decisiones de distintos actores, y en particular del sector público, o no son aplicadas por ellos. Al respecto cabe señalar que el Código de Aguas en su Art. 299 b) 3 entrega a la DGA la atribución de "Propender a la coordinación de los programas de investigación que corresponda a las entidades del sector público y a las privadas que realicen esos trabajos con financiamiento parcial del Estado." Así, surge la urgente necesidad de que la DGA ejerza su atribución de coordinación tanto de la investigación generada con fondos públicos como de los sistemas de información operados por los distintas instituciones del Estado: DGA, Conicyt, Corfo, DMC, CNR, SERNAGEOMIN, MMA, entre otros".

- Se estima que, para materializar los programas en la forma señalada, ellos debieran asignarse a uno o a una agrupación de varios centros especializados. De esa forma, se facilitaría la creación de un grupo científico estable y de alta especialización en la materia, en condiciones de profundizar y dar continuidad a las investigaciones, y con una adecuada rendición de cuentas.

Tabla N° 2. Clasificación de áreas de investigación relativas a procesos hidrológicos

VARIABLE/TEMA	ÁREA DE INVESTIGACIÓN
PRECIPITACIÓN	Distribución espacial
	Distribución temporal
	Situaciones extremas
ACUMULACIÓN NIVAL	Línea de nieves
	Cobertura nival
	Distribución espacial
EVAPORACIÓN/ SUBLIMACIÓN/ET	Nieve/hielo
	Suelo
	Salares
	Cauces
	Lagos
	Aguas subterráneas
	Vegetación natural
CLIMA	Variabilidad climática natural
	Cambio climático
AGUA EN EL SUELO/ INFILTRACIÓN	Humedad del suelo
	Infiltración
	Generación de escorrentía directa
	Hidrología de montaña
	Percolación de aguas subterráneas
ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	Componentes de hidrograma
	Hidrograma de crecidas y propagación
	Hidrología de sequías
	Propiedades estadísticas y caudales extremos
AGUAS SUBTERRÁNEAS	Identificación y geometría de acuíferos
	Propiedades hidrogeológicas
	Hidráulica de pozos
	Recarga de acuíferos
	Recarga artificial
	Movimiento de aguas subterráneas
	Relación río-acuífero
	Relación aguas subterráneas-ecosistemas

VARIABLE/TEMA	ÁREA DE INVESTIGACIÓN
SEDIMENTOS	Producción de sedimentos
	Transporte de sedimentos
	Depósito de sedimentos
HIDROQUÍMICA	Interacción agua/roca
	Procesos de salinización y otros
	Caracterización de fuentes contaminantes
	Procesos de transporte de contaminantes en aguas superficiales
	Procesos de transporte de contaminantes en aguas subterráneas
LAGOS	Caracterización de cuerpos lacustres
	Hidrodinámica de lagos
	Condición trófica y procesos relacionados
ECOLOGÍA FLUVIAL	Morfología del cauce, riberas y dinámica fluvial
	Caracterización y procesos de los ecosistemas
	Caudales ecológicos

Tabla N°3: Tipología de modelos para la predicción hidrológica

Climáticos y meteorológicos
Precipitación-escorrentia (determinísticos)
Hidrología de nieves y hielos
Aguas subterráneas
Gestión de sistemas de recursos hídricos
Calidad de aguas y transporte de contaminantes
Hidrodinámica de lagos y procesos bioquímicos
Hidráulica fluvial
Ecohidrológicos
Modelos estocásticos y redes neuronales

En cada uno de los 5 temas seleccionados, la Subcomisión identificó en forma preliminar un conjunto de posibles áreas de investigación. Ellas no pretenden ser exhaustivas ni definitivas, ya que se entiende que estas temáticas dan cuenta de procesos dinámicos y que por lo tanto van a requerir ajustes y una priorización en función de los cambios de escenarios, la disponibilidad presupuestaria y la capacidad institucional para coordinar la investigación. Sin embargo, la Subcomisión considera que las áreas propuestas permiten tener una idea clara del tipo de materias que se espera que sean incluidas, y son aquellas cuya investigación y modelación se visualizan en la actualidad como prioritarias.

a) Programa 1: Investigaciones meteorológicas-climáticas para la gestión de los recursos hídricos

La gestión de los recursos hídricos requiere de un conocimiento profundo y detallado de determinadas áreas de la meteorología y climatología del país, lo cual involucra una importante actividad de I+D+i. Al respecto hay que hacer presente que la naturaleza propia de los fenómenos meteorológicos obliga a la investigación del contexto local. En el caso de Chile ese requerimiento se acentúa por las características del país, con accidentes geográficos notables como son la presencia de la Cordillera de Los Andes, la corriente de Humboldt, su ubicación en una zona de transición altamente afectada por el desplazamiento de los centros de alta presión, entre otros. Así, el conocimiento hidrológico necesario para asumir los desafíos en relación con la gestión del agua está condicio-

nado a nuestro conocimiento de ciertos fenómenos y comportamientos meteorológicos. En consecuencia, necesitamos fortalecer la investigación nacional en ciertas materias de la meteorología que se relacionan directamente con la gestión del agua, siendo recomendable crear un programa de largo plazo, de carácter científico-técnico, que potencie el desarrollo de la meteorología en función de atender las necesidades nacionales en materia de recursos hídricos. Para dicho programa se identificaron, en forma preliminar, las siguientes áreas prioritarias:

- Estudios de variabilidad climática/ciclos/sequías históricas/tendencias: Se trata de una materia de gran interés para la determinación de los escenarios de planificación y diseño utilizados en las políticas, programas y proyectos relacionados con el agua, y en la cual el desarrollo de nuevas técnicas presenta beneficios potenciales elevados.
- Análisis del comportamiento de los eventos de precipitación/origen/eventos climáticos extremos/intensidades: En estos temas resulta conveniente avanzar en la investigación de las variables meteorológicas que se observan en condiciones extremas, en períodos breves, utilizadas en la planificación y el diseño de las obras hidráulicas.
- Pronósticos meteorológicos estacionales: Se trata de fortalecer la capacidad de pronóstico de la presencia de eventos tales como El Niño y La Niña, y de sus impactos en el sistema hidrológico nacional, lo que tiene un enorme impacto en la disponibilidad de agua para las actividades productivas y el abastecimiento de la población.
- Modelación meteorológica para la predicción hidrológica de corto plazo: El pequeño tamaño de las cuencas chilenas hace imprescindible que para que sean de utilidad los pronósticos de caudales de corto plazo, ellos estén acoplados a modelos meteorológicos. Dichos modelos deben orientarse a entregar con una precisión adecuada la distribución temporal de la precipitación y temperatura, en escala horaria y en distintos puntos de las cuencas (los pronósticos meteorológicos actuales no son útiles para esos fines).
- Cambio climático y modelación de escenarios para recursos hídricos (a nivel de cuenca): El conocimiento actual en relación con esos temas es insuficiente para la planificación, gestión y diseño en materia de recursos hídricos, aunque informan acerca de la incertidumbre existente. Así, desde la perspectiva del desarrollo del país, resulta crítico avanzar en la calidad de las estimaciones, en especial en la identificación a nivel de cuencas, con una precisión adecuada, de los escenarios probables para los próximos 30 años.



Contando estrellas (CC BY-SA 2.0)

Síntesis de las propuestas:

Desarrollo de un programa nacional de I+D+i de investigación en meteorología y clima, para fines de gestión hídrica, de carácter integral, de largo plazo, bajo tutela de autoridad rectora y asignado a un centro especializado (o a una agrupación de centros), que considere como líneas principales de investigación temáticas tales como:

- Variabilidad climática/ciclos/sequías históricas /tendencias.
- Comportamiento de los eventos de precipitación/origen/eventos climáticos extremos/intensidades.
- Pronósticos meteorológicos estacionales.
- Modelación meteorológica para la predicción hidrológica de corto plazo.
- Cambio climático y modelación de escenarios para recursos hídricos (a nivel de cuenca).

b) Programa 2: Investigaciones en hidrología de montaña

La mayor parte de la escorrentía del país se genera en zonas montañosas, sin embargo, la complejidad propia de esas áreas, las particularidades de nuestra geografía y las dificultades de acceso, hace que en general, el conocimiento hidrológico de los procesos que ellas presentan sea precario. Además, crecientemente se desarrollan actividades de diversa índole (productiva, turística, transporte, etc.) en las zonas de montaña, que requieren un mejor conocimiento de ese medio geográfico.

Considerando la enorme importancia de esas zonas para el desarrollo del país, la Subcomisión estima que debiera hacerse un esfuerzo especial en I+D+i para atender los déficits existentes, mediante un programa regular, con una perspectiva de mediano y largo plazo. Las áreas de investigación identificadas en forma preliminar por la subcomisión son:

- **Acumulación nival/distribución espacial-temporal/volúmenes/línea de nieves:** Al respecto interesa desarrollar procedimientos, que permitan evaluar en forma más precisa y detallada la acumulación de la nieve y la evolución del manto nival, apoyándose en las nuevas tecnologías disponibles. Además, se requiere generar información sistematizada de cobertura nival y de la línea de nieves y estudiar los procesos de compactación de la nieve. Es importante señalar que en la actualidad el conocimiento disponible se obtiene en forma indirecta, y en una escala agregada a nivel de las cuencas, lo que en muchos casos resulta inadecuado para la evaluación del recurso hídrico en subcuencas, las que responden a muchos efectos de menor escala (orografía, exposición al viento, avalanchas, etc.). Así, el avance en este tema sería de gran interés para el desarrollo de modelos predictivos, en especial a nivel de subcuencas.
- **Procesos de deshielo/evaporación/sublimación:** Los déficits de conocimiento más importantes, de acuerdo a la Subcomisión, se refieren a la falta de una mejor comprensión de los procesos de sublimación y derretimiento, en especial en las áreas localizadas a gran elevación sobre el nivel del mar, en cuencas del norte y centro del país. Es importante destacar que la determinación de la sublimación de la nieve es una componente crítica de la estimación del balance hídrico en las cuencas de cordillera del norte del país.
- **Impacto hidrológico de glaciares/hidrología glacial (glaciares blancos/cubiertos/rocosos):** El conocimiento de la hidrología glacial es un factor importante para la evaluación y pronóstico de los caudales en importantes cuencas del centro del país (Aconcagua, Maipo y Rapel), de las regiones III y IV y de la zona austral (Baker, Serrano, por ejemplo). Sobre estos temas existen estudios desde los años 80; por ejemplo, los estudios sobre el aporte glaciar en la cuenca del Maipo o de los campos hielos patagónicos (Peña, 1987), sin embargo, ellos deben ser ampliados y profundizados.

Asimismo, el aporte de los glaciares rocosos y cubiertos a la recarga y el aporte a la escorrentía es incierto, a pesar de que en el proyecto de Ley de Glaciares aparece esta forma de caracterización como clave para determinar su impacto. Al respecto, en la provincia del Elqui, por ejemplo, se ha observado una relación entre bofedales y glaciares rocosos, pero no existen estudios que den cuenta de este vínculo, ni se ha determinado cuánta agua necesitamos para mantener estos ecosistemas. A su vez, estudios en la cuenca del río Maipo, en el estero Yerba Loca (Casassa, 2015), han permitido demostrar que el aporte a la escorrentía de los glaciares rocosos, cubiertos y descubiertos (blancos) presentan una diferencia sustantiva, en alrededor de un orden de magnitud entre los rocosos y los blancos.

El estudio de los glaciares es también relevante para prevenir los riesgos que pueden generar sus dinámicas, como sucedió con la crecida glacial en el río Manflas (Copiapó) en 1985 y en el deslizamiento catastrófico del glaciar Aparejo (Maipo) en 1980, lo que debiera conducir a un programa que identifique los glaciares que generen situaciones de riesgos para la población.

- Recarga natural y artificial en laderas/escorrentía/interconexión acuíferos: Los procesos asociados a la generación de la escorrentía, tales como la partición del caudal en componentes superficial, subsuperficial y subterráneo, resultan especialmente complejos y poco conocidos en las zonas montañosas, en particular en las condiciones presentes en nuestro país. De este modo, es particularmente importante desarrollar actividades de investigación sobre el tema, considerando su papel en las capacidades de evaluación hidrológica y en la preparación de modelos predictivos.
- Modelación de derretimiento de nieves/hielo/escorrentía: Las condiciones del balance de energía en los Andes Centrales y en el norte del país, son sustancialmente distintas a las observadas en las áreas nivales de los países desarrollados, de modo que resulta imprescindible la realización de investigaciones y modelos sobre el proceso de deshielo, que sean representativos de los procesos de derretimiento en las condiciones nacionales. Esta información resulta de gran importancia en temas muy diversos como son, por ejemplo, la determinación de crecidas de diseño para las obras hidráulicas localizadas en las zonas de montaña, o la evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos.



- **Pronósticos de caudales de deshielo:** Se trata de una materia de gran importancia práctica en la gestión de los recursos hídricos en la mayor parte del país. Así, anualmente la DGA prepara pronósticos que son utilizados para la planificación de las actividades de riego, de abastecimiento a la población y de otros usuarios (por ejemplo, actividades turísticas). Además, el sector hidroeléctrico realiza sus propios estudios para la planificación del sistema energético. En esta materia, se estima que sería altamente atractivo para el país, impulsar actividades de I+D+i que permitan mejorar la calidad de este tipo de servicios.
- **Interacción precipitación/escorrentía/vegetación en sistemas andinos y bosques:** La cobertura vegetal existente en zonas montañosas, en especial en la zona sur del país, incide directamente en el régimen hidrológico de aguas abajo. Es de interés mejorar su conocimiento considerando las diversas actividades de manejo forestal que se realizan en el territorio nacional, y su relación con la disponibilidad de agua para el abastecimiento de la población, en especial de comunidades pequeñas del sur del país.
- **Producción y transporte de sedimentos/cuantificación de erosión/morfología de cauces.** Se trata de un tema de interés con un importante déficit de conocimiento y necesidades de I+D+i, y que, sin embargo, tiene implicancias en diversos problemas asociados a la gestión del recurso hídrico en nuestro país. Así, las experiencias recientes han mostrado la vulnerabilidad de las plantas de agua potable de ciudades como Santiago, al enfrentar el incremento de sedimentos durante eventos de precipitación en la alta cordillera. Del mismo modo, el transporte sólido condiciona la construcción de obras hidráulicas en cauces.

Síntesis de las propuestas:

Desarrollo de un programa nacional de I+D+i de hidrología de montañas de carácter integral, de largo plazo, bajo tutela de autoridad rectora y asignado a un centro especializado (o a una agrupación de centros), que considere como principales de investigación temáticas como

- Acumulación nival: distribución espacial-temporal/volúmenes/línea de nieves.
- Procesos de deshielo/evaporación/sublimación.
- Impacto hidrológico de glaciares/hidrología glacial (descubiertos/cubiertos/rocosos).
- Recarga natural y artificial en laderas/escorrentía/interconexión de acuíferos.
- Modelación de derretimiento de nieves/hielo/escorrentía.
- Pronósticos de caudales de deshielo.
- Interacción precipitación/escorrentía/vegetación en sistemas andinos y bosques
- Producción y transporte de sedimentos/cuantificación de erosión/morfología de cauces.

c) Programa 3: Investigaciones en hidrología de zonas áridas

En general, las características hidrológicas de las zonas áridas ofrecen enormes desafíos a las tÁreas de evaluación y modelación de los recursos de agua. Paradojalmente, son las áreas que requieren de un conocimiento más preciso y detallado para realizar una gestión adecuada de este recurso. Así, el aporte de I+D+i en esta materia resulta de la mayor importancia. Este marco, de validez general, resulta aún más crítico en el caso de Chile, donde buena parte de su actividad económica está relacionada con dichas áreas.

De acuerdo a lo señalado, la subcomisión consideró necesario la formulación de un programa nacional dirigido específicamente a avanzar en esta temática. Al respecto se identificaron, preliminarmente, las siguientes áreas de investigación:

- **Origen de aguas subterráneas en zonas áridas/datación y aguas fósiles/interconexiones:** La determinación del origen, antigüedad y de las relaciones entre las masas de aguas subterráneas almacenadas, presenta importantes desafíos, y simultáneamente resultan de gran importancia para su gestión racional. Con ese propósito resulta de interés el desarrollo de la I+D+i, en áreas tales como el uso de técnicas isotópicas y geoquímicas, entre otras.
- **Recarga acuíferos en zonas áridas/caracterización de eventos de recarga/zonas de recarga:** El estudio de la recarga de las aguas subterráneas en las zonas áridas resulta extremadamente difícil, considerando los complejos procesos agua-suelo asociados, los montos mínimos que representan en relación con las precipitaciones, y su variabilidad temporal y espacial, no obstante lo cual, son escasas las investigaciones desarrolladas sobre el tema en el país. Así, es una variable crítica en la evaluación de los recursos hídricos, que debe ser objeto de programas de investigación específicos.
- **Propiedades hidrogeológicas/geometría de acuíferos en climas áridos:** Los acuíferos de las zonas áridas presentan propiedades hidrogeológicas características, asociadas a su génesis, que inciden en la determinación del volumen y del movimiento de las aguas subterráneas. Así, es importante desarrollar programas de I+D+i al respecto.
- **Evaporación desde suelos húmedos/salares/vegas y humedales.** Otra de las características de estas zonas, que incide directamente en la evaluación de la disponibilidad de recursos hídricos, es la importancia de la evaporación desde suelos húmedos y, en particular, desde los salares. Ello hace necesario la investigación de su magnitud y de las variables que la afectan, así como de las técnicas para su evaluación a nivel de grandes extensiones.
- **Eventos de crecidas súbitas:** Las crecidas en zonas áridas se asocian a procesos muy complejos y poco estudiados. Además, presentan una variabilidad extrema y constituye un desafío mayor la determinación de los caudales máximos para la protección de la población y el diseño de obras. Un buen ejemplo de las implicancias de lo anterior, lo constituye el evento de marzo de 2015 que arrasó ciudades como Diego de Almagro, Chañaral y Copiapó, con numerosas pérdidas de vidas humanas y daños materiales. Así, se trata de un tema que debiera ser estudiado en profundidad por un programa de I+D+i especial, como el propuesto.
- **Biomás áridos y agua:** el conocimiento en profundidad de la relación agua-medio ambiente resulta decisiva para establecer las normativas que permitan realizar una explotación de los recursos hídricos con una adecuada conservación ambiental. Asimismo, frente a situaciones de sobre utilización histórica de los recursos, resulta crítico para establecer las medidas de restauración. De acuerdo a lo anterior, es importante desarrollar los programas I+D+i que permitan dar un soporte sólido a dichas acciones.

Síntesis de las propuestas:

Desarrollo de un programa nacional de I+D+i de hidrología de zonas áridas de carácter integral, de largo plazo, bajo tutela de autoridad rectora y asignado a un centro especializado (o a una agrupación de centros), que considere como principales de investigación temáticas como:

- Origen de aguas subterráneas en zonas áridas/datación y aguas fósiles/interconexiones/geoquímica.
- Recarga de acuíferos en zonas áridas/caracterización de eventos de recarga/zonas de recarga.
- Propiedades hidrogeológicas/geometría de acuíferos en climas áridos.
- Evaporación desde suelos húmedos/salares/vegas y humedales.
- Eventos de crecidas súbitas.
- Biomas áridos y agua.

d) Programa 4: Investigaciones para la gestión de los recursos hídricos superficiales-subterráneos

En la actualidad en una gran parte del territorio nacional se hace un uso intensivo de las aguas superficiales y subterráneas. Así, la mayoría de los sistemas hidrológicos se encuentran profundamente intervenidos y la gestión de los recursos de agua deben considerar tanto las condiciones naturales como el efecto de las intervenciones de aguas arriba. Por otra parte, el aprovechamiento de los recursos hídricos, en las condiciones de escasez predominantes en una extensa zona del país, hace necesario el desarrollo de sistemas de gestión de alta eficiencia a nivel de las cuencas, orientadas a optimizar el uso del recurso, en un marco de gestión integrada de los recursos hídricos. Al respecto, la Subcomisión concluyó en la necesidad de impulsar en el país un programa para desarrollarse en el largo plazo que apunte a la gestión óptima del recurso hídrico en dichas zonas con un aprovechamiento intensivo, e identificó, en forma preliminar, un conjunto de temas que debieran ser incorporados en ese esfuerzo. Ellos son:

- Geometría de acuíferos/determinación de parámetros hidrogeológicos/hidráulica de pozos/acuíferos en roca: La investigación de las características hidrogeológicas de los acuíferos y su relación con la evaluación de la disponibilidad y aprovechamiento, es una materia que se requiere profundizar, considerando que resulta fundamental para el desarrollo de modelos empleados en la gestión del agua subterránea.
- Procesos de recarga de acuíferos/interacción riego-acuíferos/infiltración de canales: La recarga de los acuíferos en la zona norte y central de Chile depende en forma importante del manejo del territorio. En particular, resulta crítica la relación entre actividades de riego, incluidas la evolución de las áreas irrigadas, y las prácticas agrícolas, con los procesos de recarga de las aguas subterráneas. No obstante lo anterior, se trata de materias que presentan escasa investigaciones nacionales.
- Evapotranspiración real (ETR) de sistemas naturales y cultivos: En estas materias, se han realizado interesantes experiencias en el país, en general, orientadas a evaluar los requerimientos de agua de ciertos tipos de cultivos de gran importancia económica. No obstante lo anterior, para una adecuada evaluación de los recursos hídricos disponibles y una gestión eficiente, resulta necesario avanzar en la investigación de un amplio conjunto de temas, relativos al consumo efectivo de las aguas, tanto por la vegetación natural, especialmente en salares, como por los cultivos. Cabe señalar que, en la actualidad, en ausencia de investigaciones detalladas de la ETR, importantes decisiones acerca de la potencialidad hídrica de las cuencas se deben realizar basadas en hipótesis con escaso respaldo de conocimiento.

- Relación río acuífero/coeficientes de conductividad en cauces: Debido a su configuración geomorfológica, las cuencas chilenas presentan una interacción río-acuífero extremadamente activa. Esta característica introduce serias dificultades para una gestión adecuada de las aguas y la aplicación del marco regulatorio existente. Así, se trata de una materia que requiere de un apoyo en I+D+i orientado a optimizar la toma de decisiones públicas y privadas en el tema.
- Modelación integrada superficial-subterránea de sistemas de recursos hídricos para la gestión/modelación de sistemas de hídrico a nivel de cuenca: La modelación de sistemas complejos de gestión de recursos hídricos, considerando tanto aguas superficiales como subterráneas, es la principal herramienta para la toma de decisiones sobre los recursos hídricos. Además, se trata de un tema en el que a medida que la intensidad del uso de los recursos de agua aumenta, es necesario que las herramientas predictivas sean crecientemente más precisas. Al respecto se estima que resulta crítico la mejora de las herramientas utilizadas para la toma de decisiones en la actualidad, y desarrollar investigaciones orientadas a ese propósito.

Síntesis de las propuestas:

Desarrollo de un programa nacional de I+D+i sobre procesos hidrológicos y modelación para la gestión, de carácter integral, de largo plazo, bajo tutela de autoridad rectora y asignado a un centro especializado (o a una agrupación de centros), que considere como principales de investigación temáticas como:

- Geometría de acuíferos/determinación de parámetros hidrogeológicos/hidráulica de pozos/acuíferos en roca.
- Procesos de recarga de acuíferos/interacción riego-acuíferos.
- Evapotranspiración real (ETR) de sistemas naturales y cultivos.
- Relación río acuífero/coeficientes de conductividad en cauces/infiltración de canales.
- Modelación integrada superficial-subterránea de sistemas de recursos hídricos para la gestión/modelación de sistemas de riego.
- Identificación de fuentes de contaminación/pasivos ambientales/modelación de calidad de aguas.

e) Programa 5: Investigaciones sobre agua y medioambiente

La gestión de los recursos hídricos debe armonizar las funciones sociales y productivas con las ambientales. Para ese propósito resulta necesario un conocimiento cabal de la relación entre el medio ambiente y los ecosistemas, con los recursos hídricos. En ausencia de ese conocimiento, la sostenibilidad ambiental, las regulaciones, la evaluación de los impactos y los planes de mitigación pueden resultar inadecuados. En el país, el tema ambiental es crecientemente motivo de conflicto, y se observa un incremento del deterioro ambiental, procesos que en parte son el resultado del débil conocimiento científico de la relación agua-medio ambiente. Así, la Subcomisión estimó que un área con déficit de conocimiento que debe priorizarse corresponde a la investigación de esta relación. A continuación, se presentan los temas de investigación que se seleccionaron, en forma preliminar, con ese propósito. Cabe hacer presente, que los aspectos de gestión de calidad de aguas se incluyeron en el Programa 4.

- **Identificación de fuentes de contaminación/pasivos ambientales/modelación de calidad de aguas:**

En la actualidad el desarrollo de instrumentos relacionados con la gestión de la calidad de las aguas es casi inexistente en el país. No obstante este retraso, corresponde a una temática muy importante, y que debiera ser objeto de gran atención en el futuro próximo, en especial asociada a la formulación de la normativa sobre los objetivos de calidad de los cuerpos de agua y el control de su contaminación. Así, se requiere desarrollar los instrumentos para la gestión de la calidad de las aguas en el país. Respecto al uso de modelos para calidad de aguas y transporte de contaminantes, se reconoce que éstos tienen un rango de incertidumbre tan grande que el error en la estimación de la calidad del agua no tienen la confiabilidad suficiente para conducir a la aceptación o rechazo de un plan de reducción de emisiones. Se requieren modelos mucho más seguros, además de mejor información de base. En cuencas con actividad geológica actual intensa esto es crítico. Por otro lado, el problema de calidad de aguas puede generar grandes amenazas. A modo de ejemplo, no conocemos el impacto de mediano y largo plazo que pueden tener los depósitos de pasivos ambientales asociados a la minería, o de los sectores con arsénico de Santiago, o en acuíferos que ya son parte del relleno sedimentario como en la quebrada del Ingenio en Ovalle, ya que estas situaciones pueden alterar la calidad del agua mucho años después. Al respecto, en las aguas subterráneas, es relevante considerar también los procesos de transporte en zonas no saturadas y los procesos geoquímicos. En general existe una gran brecha en la modelación de contaminación de aguas, problema muy relacionado con la falta de modelación de aguas subterráneas.

- **Caudales ecológicos y caracterización de usos ambientales:**

La determinación de los caudales ambientales en los distintos cauces del país es crítico para el establecimiento de las medidas de conservación ambiental y la evaluación de la disponibilidad de recursos hídricos para los fines productivos. Ello supone la investigación de los ecosistemas que se deben preservar y su relación con los caudales, en las condiciones particulares de los ríos chilenos, tarea que aún está en etapas iniciales. Al respecto el MMA con el apoyo de GIZ (Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional), está comenzando a estudiar —en las zonas que prestan



Berenice Garcia (CC BY 2.0)

servicios ecológicos importantes— la altura mínima del cauce a partir de las curvas de habilitabilidad de las especies más importantes. Además, existen otros estudios parciales, pero se trata de pasos iniciales y queda mucho por avanzar. La falta de investigación tiene consecuencias directas en la generación de normativas. Así, no contamos de hecho con un marco metodológico, modelos eco hidrológicos propios, e investigación suficiente (salvo estos esfuerzos incipientes del MMA) que permitan determinar cuál es el caudal que permite que se mantenga una comunidad ecológica viva o como lo estima Europa, del ser vivo más importante que en general es el del nivel más alto de la cadena trófica de manera de hacerse cargo de las singularidades territoriales de nuestro país. Quedan además completamente abiertos temas como las demandas escénicas.

- **Procesos hidrobiológicos en lagos y otros sistemas acuáticos/evolución de condición trófica:** Chile presenta una gran riqueza hidrobiológica en lagos y otros sistemas acuáticos, los que, además, son importantes para la sostenibilidad de las ciudades instaladas en sus márgenes y de diversas actividades turísticas y productivas. En los últimos años el MMA ha implementado normas de calidad junto con sus respectivos programas de medición y control, y hoy se encuentra evaluando la declaración de zona saturada por clorofila y nutrientes en el lago Villarrica, lo que daría lugar al primer Plan de Descontaminación en un ecosistema acuático en Chile. Para ello, se están levantando y sistematizando antecedentes metodológicos de planes de descontaminación aplicados fuera de Chile y se ha buscado apoyo técnico internacional.

Adicionalmente, se está trabajando en la revisión de normas de emisión (ej. Decreto Supremo N° 90/00), incluyendo nuevos ámbitos territoriales de aplicación como los estuarios donde se concentran gran población y actividades productivas y servicios ecosistémicos de estos ambientes.
- **Relación aguas continentales y ecosistemas frágiles y vulnerables (vegas, bofedales, humedales y turberas):** Existen diversos ecosistemas asociados a los recursos hídricos que presentan gran interés por sus características particulares prestan distintos tipos de servicios ecosistémicos, influyendo de manera significativa en el cuidado del medio ambiente y el bienestar humano, pero que a su vez son muy frágiles. Es el caso de humedales altoandinos y costeros, y de las turberas de la zona austral. Respecto de los humedales altoandinos, se requeriría desarrollar estudios en temas de evapotranspiración y comportamiento (calidad y cantidad) de aguas subterráneas. En relación con los ambientes costeros, la mayor susceptibilidad tiene relación con el aumento en su carga de contaminantes derivados de la concentración de la población y los efectos del cambio climático. Finalmente, en el caso de las turberas, el foco de investigación y desarrollo debe estar puesto en medir los efectos de drenaje y sobre explotación, de los cuales este tipo de ecosistema está siendo objeto. Para su protección y manejo sostenible es necesario el desarrollo de programas específicos, que refuercen el conocimiento que se tiene en la actualidad, generado en esfuerzos aislados de universidades, organismos públicos, ONG's y empresas.
- **Ecología fluvial (caracterización de biodiversidad/procesos hidrobiológicos/procesos en estuarios/impacto proyectos de desalinización):** La investigación de la ecología fluvial en el país debiera entregar información sustantiva para la formulación de las normativas relativas a proyectos relacionados con los recursos hídricos y los cauces.
- **Restauración y protección vegetación ribereña/dinámica de cauces:** En el país se observa un gran deterioro de muchos cauces que han sido objeto de explotación incontrolada como fuente de áridos, o que experimentan el impacto de la creciente convivencia con zonas urbanas. Así, en el futuro será necesario desarrollar proyectos de protección y restauración fluvial, lo cual supone avanzar en el conocimiento de la dinámica de los ríos, su interacción con los ecosistemas ribereños y de las técnicas de restauración, materias que han sido motivo de escasa investigación en el país.

- **Efectos y adaptación al cambio climático:** El impacto del cambio climático global se estima que será de gran importancia en el régimen hidrológico de diversas zonas del país. Sobre esa materia se han realizado diversos estudios, sin embargo, ellos aún están lejos de entregar información suficiente para su uso práctico en la planificación o el diseño, al nivel de proyectos particulares o de cuencas. Así, se requiere reforzar las investigaciones en esta materia.

Síntesis de las propuestas:

Desarrollo de un programa nacional de I+D+i sobre agua y medioambiente, de carácter integral, de largo plazo, bajo tutela de autoridad rectora y asignado a un centro especializado (o a una agrupación de centros), que considere como principales de investigación temáticas como:

- Caudales ecológicos y caracterización de usos ambientales.
- Procesos hidrobiológicos en lagos y otros sistemas acuáticos/evolución de condición trófica.
- Relación aguas continentales y ecosistemas frágiles y vulnerables (vegas, bofedales, humedales y turberas).
- Ecología fluvial: Caracterización de biodiversidad/procesos hidrobiológicos/procesos en estuarios/impacto proyectos de desalinización.
- Restauración y protección vegetación ribereña/dinámica de cauces.
- Efectos y adaptación a cambio climático.





Anexo 3

DESARROLLO Y APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA AUMENTAR LA OFERTA Y DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS SOSTENIBLES

Introducción

Mandato

La subcomisión 2 (o “Mesa 2” como le llamamos internamente) fue mandatada a explorar y dar directrices acerca de las tecnologías que se deben priorizar en las iniciativas de investigación, desarrollo e innovación en los dos aspectos definidos por la Comisión de I+D+i que se mencionan a continuación:

- Uso de nuevas fuentes de agua para mejorar disponibilidad de los recursos hídricos y reutilización de aguas.
- Aumento de la eficiencia en el uso y distribución del recurso hídrico.

Lógica de trabajo

El análisis de esta subcomisión tiene un alcance amplio debido a que la gestión y el manejo de los recursos hídricos relacionados, como por ejemplo: la extracción, el tratamiento, transporte, uso y consumo de agua, contienen en su mayoría componentes tecnológicos. Asimismo, los métodos de investigación acerca del agua y los instrumentos para su asignación que requieren el desarrollo de tecnologías.

En ese marco y con el objetivo de desarrollar un análisis estructurado y ordenado que contribuya al cumplimiento del objetivo propuesto, se adoptó como marco de trabajo de base, la metodología desarrollada por el Institute for Manufacturing —IfM, de la Universidad de Cambridge. Esta metodología es una herramienta que permite identificar y priorizar

aquellas soluciones, requerimientos, tecnologías y servicios que den respuesta a los desafíos y objetivos estratégicos establecidos como necesarios para lograr, en este caso, contribuir a la sostenibilidad de los recursos hídricos.

La mesa 2 realizó un análisis de contexto para comprender las principales brechas que actualmente existen a nivel nacional relacionado con el I+D+i en recursos hídricos, y las organizó en función del orden de prioridad asignado por los integrantes de la mesa, resultando lo siguiente:

1. Ausencia de un marco de política que defina los lineamientos para el desarrollo de I+D+i
2. Falta de coordinación interinstitucional entre centros de investigación, entidades públicas, y privadas, etc.
3. Falta de prospectiva para lineamientos y política pública
4. Financiamiento insuficiente y sin foco en I+D+i
5. Financiamiento insuficiente para infraestructura de desarrollo de I+D+i
6. Ausencia de centros tecnológicos especializados y coordinados
7. Falta de catastro de áreas y proyectos de investigación
8. Desconocimiento y brechas de información sobre los recursos hídricos a nivel de cuenca (balances hídricos, efectos de cambio climático, etc)
9. Falta de una cultura de valoración y puesta en valor del recurso hídrico
10. Falta de sentido de urgencia del tema agua (priorización)
11. Falta de incentivos para la eficiencia en el uso del recurso
12. Marco regulatorio que limita la generación y aplicación de tecnologías
13. Desconocimiento de la "sabiduría" local sobre aplicación de tecnologías
14. Falta de soporte adecuado para la transferencia y apropiación de tecnologías
15. Falta de certificación de tecnologías disponibles
16. Faltan empresas de base tecnológica

Para determinar el desarrollo y aplicación de tecnologías para aumentar la oferta y disponibilidad de recursos hídricos sostenibles, la mesa definió como propósito fundamental el lograr establecer balances sostenibles de recursos hídricos por cuenca. Luego, se identificaron de manera adicional, propósitos relacionados con poner en valor el agua como recurso indispensable para diferentes usos, optimizar el uso social, ambiental, y productivo del agua y asegurar la adaptación al cambio climático.

El conjunto de soluciones tecnológicas identificadas se muestran a continuación de acuerdo al orden de prioridad asignado por la mesa. Esta asignación de prioridad fue establecida en base a la contribución de cada solución al cumplimiento de los propósitos antes mencionados, resultando como principales las siguientes soluciones tecnológicas:

- Optimización de sistemas de riego (diseño y selección)
- Desarrollo de sistemas de manejo de riego
- Desarrollo de técnicas para la utilización de agua de mar para cultivos, minería y comunidades
- Recarga de acuíferos
- Gestión de aguas lluvias
- Sistemas de almacenamiento superficial
- Manejo y gestión de embalses
- Sistemas de conducción
- Restauración y conservación de cuerpos de agua y ecosistemas acuáticos (ríos, humedales, bofedales, glaciares, caudal ecológico)
- Reúso de aguas residuales

- Desarrollo de sistemas productivos secos en la industria y minería
- Recuperación de aguas desde espesadores y tranques de relaves
- Diseño y manejo de tranques de relaves
- Determinación y recuperación de evaporación en embalse
- Traslado de aguas
- Desalación de agua de mar
- Uso de artefactos domiciliarios eficientes
- Eficiencia del uso del agua en otros procesos (industria, sanitarias, energía, otros)
- Sistemas avanzados de tratamiento de aguas residuales
- Sistemas diferenciados para Aguas grises

Para el análisis detallado de las soluciones identificadas éstas fueron clasificadas y agrupadas de la siguiente forma:

- i) Riego (sistemas de riego optimizados, sistemas de manejo y técnicas de uso de agua de mar para cultivos)
- ii) Fuentes de agua y almacenamiento (recarga de acuíferos, embalses y gestión aguas lluvia)
- iii) Recuperación y restauración de cuerpos de agua y ecosistemas acuáticos
- iv) Transporte y distribución (conducción, traslado)
- v) Nuevas Fuentes de agua (reúso y desalación)
- vi) Minería e Industria (desarrollo procesos secos, eficiencia, recuperación de agua y manejo de tranques)
- vii) Uso doméstico (aguas grises, artefactos)
- viii) Sistemas avanzados de tratamiento de aguas residuales

Finalmente, para tratar estas soluciones, se organizó el trabajo en torno a 4 sectores asociados al uso y requerimientos del recurso:

- Agropecuaria (i y iv)
- Aguas Urbanas (ii, vii y viii)
- Minería e Industria (v y vi)
- Medio Ambiente (iii)

Análisis y propuestas

Desafíos de investigación, desarrollo e innovación transversales

En el análisis específico de los sectores identificados se pudo constatar que existen temas comunes relevantes a considerar, los cuales se presentan a continuación.

a) Reutilización/Desalación

Dado el gasto energético y/o de infraestructura para trasladar agua entre lugares lejanos, tiene sentido aprovechar los recursos disponibles lo más cerca posible de los lugares de uso. Por lo tanto, si es factible reutilizar agua usada, ya sea por el proceso propio o la resultante del uso de otros actores, podemos "generar" nuevas fuentes de agua. También es posible poner en valor agua salobre, proveniente del mar. En este contexto se hace necesario el desarrollo de tecnologías para la puesta en valor tanto de las aguas ya utilizadas (aguas residuales) como de las aguas provenientes del mar, a través de procesos físico químicos de desalación.

Propuestas transversales asociadas al reuso:

- Metodologías de abatimiento de componentes físicos químicos y biológicos, diferenciados por fin de uso
- Desarrollo de sensores para componentes físicos químicos y biológicos
- Servicio de monitoreo de calidad de agua

b) Equipos de Medición (sensores más tecnología de instrumentación, registro y comunicación)

El conocimiento de la "calidad del agua", medida de su condición respecto a características, entre otras, físicas, biológicas, químicas o bacteriológicas, es determinante para asegurar el cumplimiento de requisitos normados para los distintos usos del agua. El contar con equipos de precisión, tanto de laboratorio como de terreno, que permitan medir en forma rápida y confiable una diversidad de elementos conocidos y emergentes, permitirán asegurar un uso confiable del recurso.

Los distintos usos a que se ha hecho mención requieren de una correcta distribución de la "cantidad de agua", en primer lugar, en base a los respectivos derechos asignados, y posteriormente, de acuerdo a la operación propia en cada uno de esos usos. El contar con equipos de medición de caudal precisos hará más confiable la distribución del recurso.

Propuestas para acotar ámbitos de equipos de medición:

- Catastro de tipos, costos y volúmenes de aguas agroindustriales, agua desalada y aguas tratadas urbanas, disponibles para fines de regadío
- Investigación sobre niveles de tolerancia a residuos y contaminantes en el agua según tipo de demanda (riego según cultivo, suelo y plantaciones, agroindustria, entre otros)
- Catastro de contaminantes de cuerpos de agua (cuáles y cuánto hay)
- Ecotoxicología de las especies
- Conocimiento de la cantidad y calidad de las aguas servidas
- Caracterización del agua "local" de mar
- Tratamiento diferenciado por fin de uso
- Mapeo de áreas críticas para el control de extracciones

Nota: Dado el volumen potencial del agua a monitorear o caracterizar, es fundamental que las tecnologías sean de bajo costo y fácil implementación.

c) Plataformas y/o Centros de monitoreo

En el campo de la gestión y administración de los recursos hídricos se abre un amplio espacio para el monitoreo y control de los procesos. Las plataformas de información y gestión inteligentes, así como también los centros de control integrado para el seguimiento y automatización de los procesos, son desarrollos tecnológicos que implican alta sofisticación.

Propuestas en las que se ha relevado la importancia de estas plataformas:

- Recarga de acuíferos
- Gestión de aguas lluvia urbanas
- Manejo y gestión de embalses
- Eficiencia en distribución de agua potable urbana
- Caudales de ríos y canales



Investigación, desarrollo e innovación en áreas temáticas relevantes

a) Riego (sistemas de riego optimizados, sistemas de manejo y técnicas de uso de agua de mar para cultivos)

En esta sección se analizan las principales áreas de acción relacionadas con la optimización y uso de nuevas fuentes de agua para aprovechamiento en el regadío del sector agropecuario nacional.

- Optimización de sistemas de Riego

La mejora en el desempeño de los sistemas de riego es probablemente el aspecto que mayor impacto tenga en la eficiencia del uso de agua en Chile. En el concepto de riego se consideran tanto el riego normal como los riegos eventuales.

I+D previa:

- Información de variabilidad en las propiedades físico-hídricas y químicas del suelo en el predio
- Información de demanda hídrica y tolerancia a estrés hídrico y salino de cultivos

Tecnologías y Servicios

- Automatización de sistemas de riego presurizados y superficiales
Comprende las tecnologías que permitan programar, medir y controlar los horarios y flujos de agua para distintas secciones del predio
 - Servicios de monitoreo remoto para la toma de decisiones para el manejo de riego (sistemas de programación y control-riego de precisión)
Se refiere a la disponibilidad de servicios externos que puedan procesar la información relacionada al riego del predio y ajustar los sistemas de control para mejorar el desempeño de los sistemas de riego de acuerdo a condiciones sitio específicas
 - Sensores de estado hídrico del suelo y la planta
Este tipo de sensores son clave para ajustar los sistemas de riego, dado que permiten determinar la demanda de agua real.
 - Servicio de planificación de sistemas de riego adecuado para el predio (plano del predio, dimensiones del surco, tipo de bombas, etc.)
La planificación de sistemas de riego es ajena a la mayoría de los agricultores. Por lo tanto, el desarrollo de servicios de asesoramiento en planificación predial y optimización operativa de los sistemas de riego, tanto presurizados como superficiales es de alta relevancia.
 - Servicios de capacitación y extensión para el uso óptimo de los sistemas de riego.
El buen uso de las técnicas y sistemas de riego es la "milla final" de toda operación.. En consecuencia, disponer de servicios de extensión en manejo de riego y capacitación de usuarios, en diferentes niveles (profesionales, técnicos, operarios) es en el manejo del agua de riego, uso de sensores y diferentes tecnologías de apoyo a la toma de decisiones es relevante para optimizar el uso del agua a nivel predial.
- Tratamiento y habilitación de aguas no aptas para uso agropecuario directo (reúso de aguas agroindustriales, agua desalada, aguas tratadas urbanas, aguas salobres y salinas).
Existe una diversidad de fuentes de aguas no aptas para el uso directo del sector agropecuario, así como también de demandas de diferentes calidades de agua, de acuerdo a su potencial uso. Considerando esto, existe una oportunidad de utilizar, previo tratamiento, estas aguas no aptas para usos específicos, en función de la complejidad y el costo del tratamiento.



I+D previa

- Catastro de tipos, costos y volúmenes de aguas agroindustriales, agua desalada, aguas tratadas urbanas y agua salobre, disponibles para fines de riego.
- Investigación sobre niveles de tolerancia a residuos, contaminantes y sales en el agua según tipo de demanda (riego según cultivo, suelo y plantaciones, agroindustria, entre otros).

Tecnologías y Servicios

- Metodologías de abatimiento de componentes físicos químicos y biológicos
Se refiere a las técnicas que eliminan o aminoran los efectos de los contaminantes presentes en las aguas residuales.
- Desarrollo de sensores en los tres ámbitos
Comprende los sensores que permiten caracterizar el agua pre y post tratamiento para verificar que el "input" esté dentro de los parámetros de diseño y el "output" cumpla con lo requerido.
- Servicio de monitoreo de calidad de agua
La disponibilidad de servicios que puedan efectuar eficiente y consistentemente mediciones y calibrar los instrumentos

b) Fuentes de agua y almacenamiento

En esta sección se analiza el potencial desarrollo de I+D relacionado con alternativas tecnológicas que permiten generar fuentes de agua mediante la captación e infiltración de aguas de buena calidad y sistemas de almacenamiento de las aguas mediante uso de embalses.

- Recarga de acuíferos

Los procesos de recarga de acuíferos utilizan aguas de buena calidad provenientes de: precipitaciones, deshielos, escorrentías, humedales, aguas servidas tratadas, entre otras para su infiltración a través de diferentes técnicas en napas subterráneas. Este proceso permite el almacenamiento y posterior captación del agua infiltrada para diferentes usos. A nivel internacional estos procesos han sido desarrollados y el principal desafío en Chile para su desarrollo respecto del I+D se relaciona con mejorar la información y el conocimiento específico sobre todos los elementos y variables que deben ser considerados y que aplicarán en los territorios para habilitar el desarrollo de los proyectos de inyección de aguas a napas subterráneas.

Los descensos detectados en los caudales superficiales y en las napas subterráneas, sumados a los escenarios de bajas precipitaciones cada vez más recurrentes, hace necesaria la gestión del recurso en forma integral considerando la interrelación superficial-subterránea para el aprovechamiento del recurso.

I+D previa

- Disponer de modelos hidrogeológicos integrados (superficial y subterráneo)
- Caracterizar el acuífero (geometría, hidroquímica, biológica y niveles)
- Contar con modelos de variabilidad climática

Tecnologías y Servicios

- Desarrollo de softwares adaptados a condiciones locales
Creación o adaptación de módulos de software en productos usados internacionalmente, de manera que puedan ser aplicados con mejor desempeño a las condiciones locales
- Sensores de monitoreo de calidad
Comprende sensores que puedan caracterizar la calidad del agua a infiltrar en el acuífero y el agua del acuífero propiamente tal
- Servicio de monitoreo en línea
Disponibilidad de servicios que puedan operar una red de monitoreo remoto que envíe información a un centro de control
- Centro de Control Operativo
Plataforma que unifica la información y centraliza las decisiones de control a través de sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) o similar
- Sensores de niveles (monitoreo de acuíferos) y medición volumétrica de extracción y recarga
Sensores para medir el nivel y el flujo de salida de los acuíferos, de manera de proyectar su capacidad a futuro
- Servicios hidrogeológicos
Disponibilidad de servicios que provean la capacidad de analizar e incorporar la información de mediciones para actualizar y mejorar la caracterización de los acuíferos
- Monitoreo del Control de extracciones
- Transmisión de datos hidrometeorológicos y control de extracciones
- Aplicación de percepción remota para evaluación de recursos hídricos en sus distintas fases y componentes del balance hídrico



©Claudio Barbontin INIA

- Gestión de aguas lluvias urbanas

Actualmente, las aguas lluvias a nivel urbano en Chile son manejadas y gestionadas existiendo diversa infraestructura para la captación, acumulación y distribución de las aguas. El I+D potencial en la materia se relaciona con optimizar este manejo con el fin de incrementar el aprovechamiento de estas aguas para recargar acuíferos y generar nuevos usos del recurso. Este tipo de mejoras resultan críticas y fundamentales para la adaptación al Cambio Climático.

Ante las disfunciones del sistema de drenaje de cualquier ciudad, traducidas esencialmente en inundaciones e impacto ambiental negativo de sus vertidos en tiempo de lluvia al medio receptor, se pueden plantear diversas actuaciones, en donde las más eficaces pareciesen ser aquellas que se realizan directamente sobre la red. Una de ellas, utilizadas en otros países corresponden a los depósitos de retención, los cuales en lo sustancial captan el flujo superficial y lo almacenan temporalmente para descargarlo aguas abajo durante tiempos más prolongados y evitando el "peak" de la lluvia. Las aguas superficiales se canalizan a fin de entrar en el depósito, se almacenan y, finalmente, son vertidas nuevamente a la red.

I+D previa

- Modelos de escurrimiento superficial e inundación
- Modelos de recolección de aguas lluvia

Tecnologías y Servicios

- Mejores sistemas de monitoreo meteorológicos (más cobertura y mayor resolución espacial y temporal)

Se refiere a mejoras en la tecnología actual para contar con información suficientemente precisas como para tomar decisiones a nivel de secciones de una ciudad.

- Infraestructura de recolección

Contempla el diseño y operación de infraestructura, incluyendo tecnologías que permitan optimizar las labores de limpieza, mantención, monitoreo.

- Software predictivo, con generación de alertas

Comprende mejoras a la manera de generación y comunicación de alertas respecto del escurrimiento de agua en determinados escenarios meteorológicos.

- Infraestructura de almacenamiento

Diseño y técnicas de construcción de alternativas de almacenamiento, tanto para uso posterior como de "parques inundables" y otras alternativas que permitan aminorar daños en caso de situaciones extremas.

- Manejo y gestión de embalses

Como principales sistemas de almacenamiento de agua artificiales los embalses deben ser manejados y gestionado de manera óptima a fin de asegurar su eficacia. A continuación, se presenta el I+D de desarrollo potencial en la materia.

I+D previa

- Monitoreo y control de cantidad-calidad de caudales y embancamiento
- Determinación de exigencias de caudales para otros usos (ecológicos, turísticos, etc.)

Tecnologías y Servicios

- Equipos de medición de caudal, calidad y profundidad

Sensores para medir el estado del embalse de manera de proyectar su capacidad a futuro.

- Modelos de pronósticos de embalses ante eventos extremos

- Plataformas de control integrado.

Plataforma que unifica la información y centraliza las decisiones de control a través de sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) o similar.

- Equipos meteorológicos

Sistemas de medición de variables meteorológicas locales para calibrar y mejorar precisión de pronósticos del territorio.

c) Recuperación y restauración de cuerpos de agua y ecosistemas acuáticos

Uno de los componentes fundamentales para el sustento de vida de todo ser vivo son los cuerpos de agua y ecosistemas acuáticos los que proveen de múltiples servicios ecosistémicos. A continuación, se presenta el análisis del potencial desarrollo I+D+i que contribuirá a su conservación y recuperación.

- Restauración de cuerpos de agua (ríos, humedales, bofedales, glaciares)



I+D previa

- Línea base de flora y fauna límnic
- Catastro de contaminantes (cuáles y cuánto hay)
- Ecotoxicología de las especies
- Condiciones de habitabilidad (profundidad, velocidad, turbiedad, características del fondo, etc.)
- Modelos de comunidades ecológicas
- Modelos hidrológicos e hidrogeológicos
- Evaporación de cuerpos de agua, en particular en salares por minería del litio

Tecnologías y Servicios

- Servicios de monitoreo
Se refiere a la disponibilidad de servicios externos que puedan procesar la información relacionada al ecosistema
 - Desarrollo de sensores e instrumentación para componentes físicos, químicos y biológicos
Comprende los sensores que permiten caracterizar el agua y verificar que esté dentro de los parámetros del ecosistema
 - Metodologías de abatimiento de componentes físicos, químicos y biológicos
Se refiere a las técnicas que eliminan o aminoran los efectos de los contaminantes sobre el medio ambiente.
 - Desarrollo de software para modelos de comunidades ecológicas
Creación o adaptación de módulos de software en productos usados internacionalmente, de manera que puedan ser aplicados con mejor desempeño a las condiciones ecológicas locales
- Transporte y distribución (conducción y trasvase)
A nivel nacional los sistemas de distribución de aguas son variadas y extensas a lo largo del país. A continuación, se identifican algunos desafíos relacionados con I+D+i.
Optimización de sistemas de conducción de aguas

I+D previa

- Estado del arte sobre sistemas de conducción a nivel internacional
- Condiciones locales y brechas en conducción

Tecnologías y Servicios

- Nuevos materiales de menor costo
Contempla el desarrollo de materiales que permitan disminuir costos de inversión en conducción
- Nuevos materiales resistentes a corrosión
- Sistemas de impulsión de aguas costo eficientes
- Desarrollo de modelos inteligentes de distribución de aguas
Contempla el desarrollo de modelos de transporte de aguas que impliquen economías de escala para su implementación y operación, matrices de conducción ("carreteras de agua") y formas de distribución según uso ("Swaps de aguas")

d) Nuevas Fuentes de agua: reúso y desalación

Dentro de las alternativas de nuevas fuentes de agua más desarrolladas a nivel mundial se encuentra el reúso de aguas residuales y desalación de agua de mar. Las tecnologías utilizadas han sido ampliamente desarrolladas y optimizadas. Sin embargo, aún se presentan diversos desafíos de mejoras las que se identifican a continuación como oportunidades de desarrollo de I+D+i.

- Reúso de aguas residuales

I+D previa

- Conocimiento de la cantidad y calidad de las aguas servidas
- Mapeo de puntos de entrega (ubicación y tipo de uso industrial)
- Caracterizar impacto en el destino público (plaza, estero, acuífero, entre otros)

Tecnologías y Servicios

- Tratamiento avanzado diferenciado por objetivo de uso
Se refiere a las técnicas que eliminan o aminoran los efectos de los contaminantes, considerando el uso específico que se le va a dar al agua resultante. El concepto es equivalente al punto 2a de Riego
- Sensores de calidad de agua
Comprende los sensores que permiten caracterizar el agua previo y posterior al tratamiento para verificar que el "input" esté dentro de los parámetros de diseño y el "output" cumpla con lo requerido. Equivalente a punto 2b de Riego
- Servicio de monitoreo de puntos de entrega
Disponibilidad de servicios que puedan monitorear de manera permanente la entrega del agua dentro de los parámetros establecidos

- Uso de agua de mar

La realidad que presentan algunas localidades del territorio, especialmente en la zona norte en las últimas décadas, hacen necesaria la búsqueda de soluciones alternativas. En ese contexto, considerando la particularidad que presenta nuestro país al contar con más de 7000 km de costa, el uso de agua de mar y la desalación surge como una alternativa a considerar dado el avance en su tecnología y la disminución de los costos de energía requeridos.

I+D previa

- Caracterización del agua "local" (propiedades del agua de mar y estacionalidad)
- Información física (geomorfología, oleaje), ambiental y social
- Características de los productos residuales que genera el tratamiento de aguas salobres
- Economía de la desalación y procesos alternativos optimizados

Tecnologías y Servicios

- Tecnologías de desalación
Se refiere a las metodologías propias para remover sales y otros componentes. Incluyendo optimización de membranas con mayor vida útil, optimización de consumo de energía en reemplazo por ejemplo de energías renovables no convencionales y pre-tratamientos necesarios de acuerdo a la calidad de las aguas de entrada al sistema, entre otros.
- Sensores de componentes físicos, químicos y biológicos
Comprende los sensores que permiten caracterizar el agua previo y posterior al tratamiento para verificar que el "input" esté dentro de los parámetros de diseño y el "output" cumpla con lo requerido
- Tratamiento, manejo y disposición de residuos líquidos (aguas de rechazo)

e) Optimización del uso de agua en procesos mineros: desarrollo procesos secos, eficiencia, recuperación de agua y manejo de tranques)

Los procesos industriales han generado un desarrollo tecnológico amplio que ha permitido optimizar el uso de recursos y maximizar la producción de bienes. Aún así, la oportunidad de desarrollo adicional de I+D+i es relevante identificándose a continuación aspectos críticos a considerar. Debido a la relevancia del sector minero en Chile y su importante sofisticación tecnológica el análisis para este rubro se ha separado del análisis de la industria en general.

Minería

- Propender a la minería seca

I+D previa

- Modelo del uso del agua en los procesos
- Desarrollo de conocimiento de procesos alternativos en metalurgia
- Estudio de efecto de la fragmentación del mineral en el consumo de agua del proceso metalúrgico
- Estudio de propiedades físicas y químicas de los minerales para separación

Tecnologías y Servicios

- Desarrollo de molienda y clasificación como procesos "secos" y eficientes
Se refiere a tecnologías que permitan operar dichos procesos sin agua. Se tiene referencia de la existencia de esta tecnología, pero carece de eficiencia
- Fragmentación adaptable
Contempla tecnologías para ajustar el nivel de fragmentación en función de los objetivos de los procesos hacia aguas debajo de la molienda
- Caracterización mineralógica "en línea"
Corresponde a obtener y transmitir información mineralógica antes de que llegue el material a los procesos.
- Servicio de monitoreo de consumos de agua en distintos procesos (smartsystems)
Se refiere a la disponibilidad de servicios externos que puedan procesar la información relacionada al consumo de agua y contrastarla con los modelos, de manera de detectar desviaciones.

- Diseño y manejo de tranques de relaves

I+D previa

- Estudio de procesos de compactación
- Estudio de procesos de infiltración y sus impactos



Tecnologías y Servicios

- Aditivos para evitar agrietamiento y que favorezcan la compactación
 - Sistemas y/o servicios de caracterización geológica
 - Tratamiento del relave para transformarlo en un material con potencial constructivo
 - Tecnologías para extracción de metales
 - Métodos y tecnologías para la desecación de tranques de relaves
- Desalación desde el sector minero

I+D previa

- Caracterización de propiedades del agua de mar y su estacionalidad
- Conocimiento de los efectos del agua de mar sobre los procesos de concentración de minerales
- Efectos del agua de mar en transporte (corrosión) y el consumo energético
- Economía de la desalación y procesos alternativos

Tecnologías y Servicios

- Tecnologías de impulsión para reducir costos y mejorar eficiencia
 - Gestión de corrosión (materiales, detección y control, aditivos)
 - Localización Concentradoras a cotas + bajas
 - Tratamiento y disposición de residuos líquidos y sólidos de plantas desaladoras
 - Red hídrica para la interconexión de un sistema de agua regional para buscar economías de escala
- Recuperación de aguas desde espesadores

I+D previa

- Caracterización de espesamiento de minerales arcillosos
- Estudio de efectos de los finos y arcillas en procesamiento de minerales
- Estudio de efecto de la temperatura en el espesador

Tecnologías y Servicios

- Ultrafloculación para espesadores
- Sistemas de control avanzado para el espesamiento (requiere sensores según el tipo de material)
- Procesos de clasificación previo al espesamiento
- Modelos de diseño de espesadores para una recuperación de agua eficiente
- Diseño de espesadores en pasta
- Recuperación de agua del proceso de filtrado

Industria

- Eficiencia del uso del agua en los procesos

I+D previa

- Modelos de uso de agua en procesos industriales
- Estudio de propiedades físicas y químicas de aguas de proceso
- Cuantificación de huella hídrica de procesos industriales y análisis de pérdidas de agua

Tecnologías y Servicios

- Desarrollo de plataformas de seguimiento de consumo de agua para su gestión
Contempla el monitoreo de consumos de agua en plataformas TI para la gestión y manejo optimizado del recurso
- Desarrollo de sistemas de monitoreo y control de pérdidas de aguas
Contempla el uso de sensores y sistemas que permitan identificar pérdidas de agua en los procesos
- Desarrollo de procesos secos o bajos en consumo de agua
Se refiere a desarrollar sistemas y tecnologías que permitan tender a minimizar o reemplazar procesos intensivos en uso de agua
- Captación, recuperación y recirculación de aguas de proceso

Contempla el desarrollo de métodos de captación de pérdidas de agua, métodos de recuperación de aguas, manejo y eventual acondicionamiento para su reúso dentro de los procesos

f) Uso doméstico (aguas grises, artefactos)

El consumo de agua residencial a nivel nacional representa aproximadamente el 6% del uso consuntivo total de aguas en Chile. El reúso de aguas grises y el uso óptimo constituye una oportunidad para una mejor gestión del recurso. Actualmente, existen en el mercado artefactos que pueden ser empleados. A continuación, se identifican algunos ámbitos de desarrollo en relación a I+D+i.

- Sistemas de Aguas Grises

I+D previa

- Caracterización de aguas grises
- Análisis tecnologías de tratamiento existentes para reúso

Tecnologías y Servicios

- Sistemas de tratamiento "simplificado"
Se refiere al desarrollo de sistemas de tratamiento por medio innovaciones como las de James Dyson, donde el estudio de los procesos físicos con herramientas modernas permite diseñar aparatos más eficientes.
- Servicio de diseño de sistema de aguas grises

- Artefactos eficientes

I+D previa

- Optimización del monitoreo y control del uso de agua domiciliaria
- Costo de las soluciones
- Factibilidad técnica para distintos contextos domiciliarios



Planta espesadora
Codelco Andina 2

Tecnologías y Servicios

- Diseño económico integrado
Se refiere al servicio de diseño integral de las redes y aparatos dentro de un hogar, de manera de hacer un sistema eficiente desde el inicio.
 - Diseño/adaptación de aparatos y tecnologías para condiciones locales
- Eficiencia en distribución de agua potable urbana

I+D previa

- Información distribuida de presión en la red
- Modelado del deterioro de la red
- "prevención de pérdidas a través de diseño / uso de equipamiento"
- Control de presión en la red

Tecnologías y Servicios

- Sensores de presión y flujo
- Centro de control (monitoreo en línea y telecomando)
- Válvulas reductoras de presión
- Medidores más exactos

g) Sistemas avanzados de tratamiento de aguas residuales

Existen diversos desarrollos tecnológicos para el tratamiento avanzado y costo eficiente de aguas residuales a nivel mundial. En este ámbito, se reconoce que existe en Chile condiciones locales y desarrollo industrial específico donde dichas tecnologías aún no resultan costo eficientes por lo que existe un desafío de desarrollo de I+D+i. A continuación se identifican dicha brechas.

- Sistemas de tratamiento avanzado

I+D previa

- Levantamiento de aguas residuales que actualmente presentan brechas en su tratamiento
- Caracterización de aguas residuales con actual brecha en tratamiento
- Prospección internacional de tecnologías emergentes para matrices complejas

Tecnologías y Servicios

- Desarrollo de nuevas tecnologías específicas costo eficientes
Se refiere al desarrollo de tecnologías nuevas capaces de remover contaminantes en forma costo eficiente adaptadas a la realidad local para que puedan ser implementadas
- Desarrollo de modelos de gestión de aguas residuales costo eficientes
Contempla el desarrollo de alternativas de uso y puesta en valor de aguas residuales para otros usos que permitan su aprovechamiento y manejo costo eficiente (reemplazar la necesidad de un tratamiento íntegro o que implique un acondicionamiento menor)
- Valorización de subproductos
Contempla el desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas residuales costo eficientes mediante la valorización de subproductos de valor comercial o de potencial aprovechamiento en otros sectores productivos



Anexo 4

GENERACIÓN DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Introducción

Mandato

Esta subcomisión responde al mandato de aportar a la Agenda de Investigación, Desarrollo e innovación para la Sostenibilidad de los Recursos Hídricos identificando el aporte que la ciencia, la tecnología y la innovación puede hacer a la gestión integrada de los recursos hídricos. En este marco, se consideran como objetivos específicos de este trabajo los siguientes:

- Instalar y fortalecer las capacidades en ciencia, tecnología e innovación en recursos hídricos.
- Generar espacios vinculantes de inclusión, articulación y coordinación entre la ciencia y los demás actores vinculados a la gestión de los recursos hídricos (vinculación ciencia, empresa y sociedad).
- Impulsar el valor y uso sostenible de los recursos hídricos en Chile

En resumen, es tarea de esta subcomisión identificar y priorizar la investigación y el conocimiento necesario para apoyar la gestión integrada de los recursos hídricos en las cuencas de nuestro país. En este sentido, consideramos vital que en el desarrollo de la Política Nacional de Recursos Hídricos, se defina el alcance operativo de lo que el país entenderá como Gestión integrada de Recursos Hídricos, acorde a su diversidad climática, cultural y el marco jurídico institucional que posee nuestro país.

Lógica de trabajo

La mesa de trabajo reunió a un grupo de expertos y profesionales de diversas instituciones públicas y privadas vinculadas a la gestión de recursos hídricos en Chile durante 10 sesiones para generar la propuesta.

El trabajo partió generando un diagnóstico de la situación actual y concordando una visión de la situación esperada al año 2030 para la gestión integrada de los RRHH, en el marco del mandato de la Comisión.

Sobre la base de lo anterior, se buscó determinar los requerimientos y principales prioridades en materia de CTI, orientada a apoyar una gestión integrada de recursos hídricos, para luego identificar las principales brechas que limitan la generación de una GIRH en las cuencas de Chile.

Una vez analizadas cada una de las brechas, se buscaron mecanismos, acciones y actividades pertinentes y necesarias para reducirlas, para lo cual se diseñó una hoja de ruta de acuerdo a la metodología de Matriz de Marco Lógico, definiendo 9 Programas Estratégicos, que determinarán las iniciativas que sean propuestas por la mesa.

El conocimiento de los expertos que participaron de la subcomisión se complementó con entrevistas a investigadores y profesionales de las instituciones públicas y privadas que participaron de la mesa, abordando en mayor profundidad ciertas temáticas esenciales identificadas en las sesiones de esta subcomisión.

Diagnóstico

Respecto de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), existen diversas declaraciones a nivel mundial que dan sustento a este concepto y que preceden a la definición de consenso. Es así como ya en la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente: "El Desarrollo en la Perspectiva del Siglo XXI", realizada en Dublín, Irlanda en 1992, se declara que el agua "es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente".

De acuerdo a la Asociación Mundial del Agua (GWP), la Gestión Integrada de Recursos Hídricos, corresponde a un proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante, de manera equitativa y sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales.

En Chile, la GIRH se ve afectada por la dificultad del Estado de mantener procesos de largo aliento, lo que ha llevado a generar proyectos pilotos, que finalmente no son escalables. Ejemplos de esta situación son la Estrategia de Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas de 2007 y las Mesas del Agua o directorios del agua. Es importante señalar que la DGA ha impulsado en las últimas décadas varias iniciativas tendientes a mejorar la gestión de aguas en distintas regiones y cuencas del país, en primera instancia a través de los Planes directores para la gestión de recursos hídricos a nivel de Cuenca y luego con los Planes Maestros Regionales para la gestión de recursos hídricos. En la actualidad, la experiencia adquirida, sumado a las tendencias metodológicas recomendadas por las distintas agencias internacionales expertas en la materia, ha llevado a que la DGA a partir del último trimestre de 2016 y primero de 2017, comience el desarrollo de dos iniciativas pilotos de Planes de Gestión Integrada de Recursos Hídricos en las cuenca de Choapa y Copiapó. Dichos planes, se



conciben como una herramienta que permita establecer la planificación y las políticas relacionadas con los recursos hídricos a nivel de cuencas, dotando a los actores de las herramientas y capacidades para abordar los desafíos que esto impone".

En la actualidad según la Dirección General de Aguas (DGA), existen al menos 5 formas de integración asociadas a la GIRH:

- a) Integración de los usuarios del agua (riego, agua potable, minería, hidroelectricidad, medio ambiente, entre otros).
- b) Integración de aspectos del agua sobre calidad, cantidad y tiempo de ocurrencia, e integración de la gestión de la oferta con la de la demanda.
- c) Integración del agua superficial con el agua subterránea.
- d) Integración de productividad con sostenibilidad.
- e) Principio de unidad de corriente v/s seccionamiento.

Por otro lado, en los Objetivos de Desarrollo Sostenible —17 grandes propósitos para una agenda al 2030—, a los que Chile adhiere, se establece como uno de los desafíos el "Garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos". En este marco se precisa que de aquí a 2030, se debe implementar la gestión integrada de los recursos hídricos en todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza.

Además, de acuerdo a la Evaluación del Desempeño Ambiental de Chile, elaborada por la OCDE el año 2016, nuestro país ocupa el quinto lugar en la lista de países de la OCDE con más recursos de agua dulce renovables per cápita, sin embargo —como lo plantea el informe— la distribución de los recursos hídricos es desigual. La demanda por agua en el norte y zona central de Chile supera permanentemente la disponibilidad existente, siendo los sectores de agricultura, minería y las necesidades de agua potable los principales demandantes del recurso.

En esta evaluación, se hace referencia a las importantes inversiones que han realizado empresas mineras y de suministro de agua potable en sistemas alternativos de provisión (como la desalinización de agua de mar, entre otras), con el objetivo de superar la reiterada escasez de agua. No obstante, el informe deja de manifiesto la necesidad de mejorar la eficiencia de uso a nivel de usuarios, de sistemas de riego en el caso de la agricultura, y de reducir las pérdidas en las redes de distribución de agua potable, que se estiman superiores al 30%.

Junto a esto, se menciona que respecto de las aguas residuales, además de la elevada escorrentía agrícola esta actividad da lugar a la contaminación por nutrientes y a la eutrafización de las aguas superficiales. Otras fuentes importantes de contaminación en Chile son la piscicultura y la minería.

Respecto a los derechos de aprovechamiento de agua, el informe describe aspectos relevantes del modelo chileno sobre la asignación del derecho, y señala con claridad que las tergiversaciones de las normas y prácticas de asignación han provocado la especulación y el acaparamiento de los derechos sobre el agua, y la sobreexplotación de algunos acuíferos. Menciona además, que la sobreasignación de derechos de aprovechamiento de agua se mantiene, aún con la reforma del 2005, y que la transparencia en materia de comercio y precios aún es limitada, que todavía existen superposiciones en la asignación de derechos —en especial en pueblos originarios—, lo cual reduce la eficiencia del mercado e incrementa tensiones entre los usuarios de agua.

Finalmente, respecto los próximos pasos en términos de gestión de los recursos hídricos en Chile, el informe pone especial énfasis en la necesidad de:

- Continuar reformando el régimen de asignación de agua para poner límite a las captaciones, dar prioridad a los usos hídricos esenciales y reflejar las necesidades ambientales.
- Continuar ampliando el alcance de las normas sobre calidad de las aguas.
- Mejorar la transparencia del registro público de derechos de aprovechamiento de agua, y establecer mejores sanciones a captaciones ilegales.
- Mejorar los sistemas de monitoreo de captación, cantidad y calidad de las aguas.

- Fortalecer la inversión en infraestructura hídrica pública para mejorar sistemas de distribución de agua, asegurar el suministro de agua potable inocua y aumentar la capacidad de tratamiento de aguas residuales.

Investigación, desarrollo e innovación para la gestión integrada de recursos hídricos

Para abordar su trabajo, la mesa de trabajo definió como objetivo general y visión los siguientes:

Objetivo General

Identificar y priorizar mecanismos, políticas y/o acciones en ciencia, tecnología e innovación, que promuevan una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos a nivel de cuencas y ecosistemas, para el bienestar de las personas y el desarrollo sostenible de sus territorios.

Visión al 2030

“Chile al 2030 contará con una institucionalidad y un marco regulatorio, que gestione los recursos hídricos con la flexibilidad que permita que la Gestión Integrada de Recursos Hídricos de cuenta de las particularidades y necesidades de cada territorio. Las instituciones contarán con las competencias técnicas necesarias para hacer una gestión sostenible de los recursos hídricos, con información accesible y confiable, en relación de la cantidad y calidad de agua de la cuenca y sus acuíferos, capaz de coordinar la participación de los diferentes actores por cuenca, tales como: instituciones públicas, organizaciones de usuarios de agua (OUA), empresas u organizaciones productivas y ciudadanía beneficiaria o afectada por la gestión de los recursos hídricos. Este marco institucional consolidará el trabajo colaborativo y permanente con las universidades y centros de investigación y contará con mecanismos validados para resolver controversias entre los distintos usuarios de la cuenca”.

Líneas estratégicas

Para orientar de mejor manera el trabajo que desarrolló la Mesa, se definieron 3 dimensiones que otorgan una estructura al documento y facilitan la comprensión del mismo, éstas son:

a) DIMENSIÓN 1: Instalación y fortalecimiento de capacidades en ciencia, tecnología e innovación en recursos hídricos

La gestión sostenible de los recursos hídricos para Chile supone diferentes objetivos complementarios, tales como: alcanzar balances hídricos sostenibles por cuenca; garantizar el suministro de abastecimiento urbano y para las actividades económicas; hacerse cargo de la restauración o mantención de los ecosis-



temas acuáticos, que aportan a la disponibilidad hídrica, su calidad y aseguran los flujos hidrológicos; minimizar el impacto de las sequías e inundaciones. También se ve enfrentada a diversas situaciones de manejo: los problemas de contaminación de los cuerpos de agua, la necesidad de mejorar las intervenciones de cauces, el requerimiento de aumentar la eficiencia del uso (zonas con exceso y otras con escasez), el conocimiento sobre las aguas subterráneas, o la necesidad de coordinación con usos alternativos (hidroeléctrico, entre otros).

Esta complejidad asociada a la GIRH conlleva desafíos en conocimiento, recursos tecnológicos, coordinaciones institucionales y aspectos legales que suponen un largo proceso interactivo e iterativo. Dicho proceso requiere capacidades en ciencia, tecnología e innovación en los territorios de Chile y en distintos niveles, que integren los distintos saberes y suplan las asimetrías de información y conocimiento por este recurso con escasez relativa creciente.

b) DIMENSIÓN 2: Inclusión, articulación y coordinación entre actores vinculados a los recursos hídricos (vinculación ciencia, empresa y sociedad).

La GIRH es un proceso largo, persistente y adaptable, pues supone modificar formas de actuar profundamente arraigadas, abriendo paso a mecanismos innovativos de articulación de intereses en un terreno complejo.

A pesar de que hoy en Chile, los derechos son de aprovechamiento, para la gestión de la cuenca, se requiere avanzar hacia un enfoque de ganancias mutuas entre los distintos actores que al mismo tiempo busque satisfacer una asignación económica eficiente del recurso hídrico. Para ello, es fundamental reconocer todos los usos y funciones y hacer partícipes a los actores vinculados a los recursos hídricos en la cuenca, generando una instancia que los convoque y permita establecer acuerdos vinculantes entre las partes.

Las OUAs poseen grandes brechas en términos de profesionalización, control y distribución de las aguas, participación efectiva de todos los usuarios tanto de riego como de otros sectores y falta de mecanismos de resolución de conflictos. A pesar de esto, algunas OUAs se han visto obligadas a gestionar el recurso de una manera distinta, más cercana al concepto de GIRH, al ir enfrentando problemas adicionales a su tarea de origen asociada a la distribución del agua de riego. Muchas de estas organizaciones han debido asumir la indivisibilidad de los cauces e incluso la interrelación de los recursos hídricos (aguas superficiales, subterráneas y ecosistemas), y se ha sumado la necesidad de coordinación con otros usos tales como los hidroeléctricos, mineros y sanitarios.

Mejorar la gestión o intervención en nuestras cuencas, requiere además de los sistemas de gobernanza, de la coordinación y vinculación institucional y sectorial, con el sector científico tecnológico, y las diversas organizaciones de incumbentes (con derechos de aprovechamiento) y no incumbentes (sin derechos de aprovechamiento), ligadas al agua. Experiencias internacionales demuestran, que la articulación y generación de puntos de encuentro entre ofertas y demandas de conocimiento favorecen la pertinencia de procesos de investigación y desarrollo en los territorios, mejoran la toma de decisiones y se constituyen en importantes herramientas para la gestión integrada de los recursos hídricos.

c) DIMENSIÓN 3: Valor y Uso Sostenible de los Recursos Hídricos

En Chile, no se paga por el agua. Por lo tanto, su valor es relativo, y está sujeto a los usos que agentes demandantes de este recurso puedan otorgarle. Esta relación entre valor y uso de los recursos hídricos, en general, está condicionada por lo determinante que puede ser el agua dentro de los procesos productivos de los distintos sectores. Como también, por el rol que juega en la mantención y sostenibilidad de los ecosistemas, y fundamentalmente por los servicios ecosistémicos del agua proporciona a la sociedad en términos de higiene, salubridad, bebida para el consumo humano, etc.

Bajo esta mirada, uno de los desafíos de la mesa fue definir una agenda que reconozca los diferentes usos de los recursos hídricos en las cuencas, y dirigir las prioridades en áreas del conocimiento que aporten a:

- i) asegurar una mayor eficiencia en el uso del agua y en la reducción de externalidades negativas por parte de los sectores productivos,
- ii) reconocer el valor los cuerpos de agua como parte esencial de los ecosistemas y de la vida,

- iii) generar acciones tendientes a propiciar un cambio cultural que reconozca el valor del agua y los servicios que ésta otorga a los seres humanos y a la biodiversidad.

Construcción de brechas

A continuación se presenta el diagnóstico actual y la situación al 2030 a la que se pretende contribuir desde la I+D+i.

DIMENSIÓN 1: Instalación y fortalecimiento de capacidades en Ciencia, Tecnología e Innovación en Recursos Hídricos

DIAGNÓSTICO 2016 (BRECHAS)	ESTADO ESPERADO 2030
<ol style="list-style-type: none"> Insuficiente Capital Humano para el monitoreo, simulación y construcción de escenarios hídricos. Inexistencia de unidades técnicas que apoyen la toma de decisiones para la gestión del agua por cuencas. Estado con capacidades restringidas en CTI y con poca vinculación con la I+D+i en Recursos hídricos. Asimetrías en capacidades y niveles de profesionalización en OUAs para la gestión de los recursos hídricos por cuenca. Insuficiencia (en algunas zonas de Chile) de organizaciones de usuarios de agua, orientadas a la gestión de la cuenca. Escasas capacidades en OUAs dirigidas en GIRH. Insuficientes Programas de formación y capacitación en gestión de recursos hídricos. Dificultad del Estado para mantener programas de I+D de largo plazo en RRHH. Insuficiente infraestructura en TICs para monitoreo y procesamiento de la información. 	<ol style="list-style-type: none"> Contar, para cada una de las cuencas del país, con capital humano con capacidades para el monitoreo, simulación y construcción de escenarios en recursos hídricos y con herramientas suficientes para el apoyo de la toma de decisiones (que contribuye a superar las brechas 1 y 2). Contar con un Estado que fomente, dialogue, vincule e integre la CTI en Recursos Hídricos para el diseño de políticas públicas de largo plazo (para brechas 3 y 8). Reconociendo la heterogeneidad geográfica de las cuencas; contar con OUAs con competencias profesionales y técnicas suficientes para la GIRH (para brechas 4,5 y 6). Contar con suficientes programas de formación y capacitación en Recursos Hídricos (para brecha 7). Disponer de Plataformas de Información Integradas por cuenca con variables hidrológicas, ambientales y productivas (para brecha 9)

ANÁLISIS DE BRECHAS

Para abordar las soluciones que conciernen a los temas de aguas, se requiere la mirada de distintos saberes, por eso la transdisciplinariedad es fundamental. Sin embargo, en Chile las capacidades en esta materia son escasas, existen escasos profesionales en hidrología e hidrogeología, por dar un ejemplo. Tampoco existen ofertas de pregrado en estas materias, como Ingeniería en Recursos Hídricos o formación en Manejo de cuenca. Sólo algunos programas integran conocimientos relativos a estos temas. Esto repercute en que en las cuencas casi no exista capital humano para hacer GIRH. Por ello, la mesa de trabajo identificó como prioritaria esta dimensión, y en concordancia con la visión futura planteada, se propusieron 4 programas estratégicos que buscan abordar áreas estructurales o condiciones habilitantes del desarrollo científico y tecnológico en el país, relacionadas con las competencias y capacidades existentes en las regiones de Chile para realizar una gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos. Los programas son:

- Atracción de Capital Humano Especializado y fortalecimiento de unidades de CTI en RRHH.
- Fortalecimiento de competencias y capacidades en OUAs e instituciones públicas ligadas a los RRHH.
- Promoción de programas de postgrado y plataformas científicas en áreas relacionadas a los recursos hídricos y en GIRH
- Generación de capacidades habilitantes para el procesamiento y simulación de condiciones hidrológicas e hidrogeológicas de las cuencas.

Programas priorizados

1.1. Atracción de Capital Humano Especializado (investigadores, gestores tecnológicos) y fortalecimiento de unidades de CTI en RRHH

Se pretende dotar de capital humano, con especializaciones pertinentes a las problemáticas territoriales relacionadas con los recursos hídricos, a universidades y/o centros de I+D del país (fortalecer tejido científico).

Con este programa se espera:

- Contar con una línea base del estado de las capacidades de I+D+i y las demandas de cada territorio por nuevas capacidades en CTI requeridas por las regiones.

- Fortalecer a Universidades y Centros científicos en regiones con capital humano especializado en áreas como la hidrología, hidrogeología, glaciología, hidrometeorología, gestión de recursos hídricos y ordenamiento territorial (entre otras disciplinas).
- Identificar e implementar mecanismos que favorezcan la permanencia del capital humano avanzado en las empresas, universidades y centros de investigación en regiones.

1.2. Fortalecimiento de competencias y capacidades en OUAs e instituciones públicas ligadas a los RRHH

En este programa se consideran dos acciones necesarias de promover, y que son: 1) contar con profesionales capacitados en las instituciones públicas para apoyar una gestión eficiente y sustentable de los recursos hídricos, y 2) contar con OUAs profesionalizadas, con capacidades adecuadas para realizar una gestión eficiente y sustentable de los recursos hídricos a nivel de cuenca.

Por otro lado, es necesario contar con un programa para la creación de plataformas para la GIRH de acceso público, a través del fortalecimiento y capacitación de las organizaciones de usuarios, especialmente las juntas de vigilancias para la coordinación a nivel local de entidades que generan información y conocimiento.

Para esto, se sugiere:

- Desarrollar un programa de perfeccionamiento y formación continua que considere estudios de postítulo y postgrado, que permita la formación permanente de profesionales del sector público y de OUAs, que desarrollen una gestión sustentable de los recursos hídricos.
- Inserción de equipos técnicos en la administración y gestión de las OUAs como apoyo para la ejecución de acuerdos de los directorios de OUAs y la articulación de los intereses concurrentes en la cuenca.

1.3. Promoción de programas de postgrado y plataformas científicas en áreas relacionadas a los recursos hídricos y en GIRH

Un aspecto fundamental y crítico dentro de las políticas de ciencia y tecnología en el país, es la construcción y/o robustecimiento del tejido académico en las regiones de Chile, para lo cual se propone como objetivo el promover la realización de programas de post grado y post título en base a necesidades macrozonales o regionales relacionadas con los recursos hídricos.

Para esto, se buscará la implementación de las siguientes medidas:

- Generar las condiciones habilitantes para la generación de programas de doctorado y magister que involucren aspectos sociales, económicos, productivos y ecosistémicos sobre los recursos hídricos.
- Aumentar la oferta de programas de diplomado dirigidos a profesionales y funcionarios del sector público y privado.
- Generar, capturar y traspasar vínculos internacionales para la generación de cursos de especialización avanzados, pasantías y/o estancias (en Chile o en el extranjero) dirigidos a profesionales y funcionarios del sector público y privado en temáticas relacionadas con los recursos hídricos.

1.4. Generación de capacidades habilitantes para el procesamiento y simulación de condiciones hidrológicas e hidrogeológicas de las cuencas

Este programa estratégico busca fortalecer la infraestructura y equipamiento científico en algunos polos de I+D en recursos hídricos en el país. De esta manera, se plantea como principal desafío el incrementar, a nivel territorial, competencias y capacidades científicas habilitantes para comprender las dinámicas de los recursos hídricos y mejorar la toma de decisiones sobre su gestión.

Algunas de las medidas que se sugieren en esta agenda son:

- Dotar de infraestructura y equipamiento científico para el almacenamiento, administración, procesamiento y simulación del comportamiento de los recursos hídricos en las cuencas. (se considera fundamental una correcta entrega de datos, bajo estándares internacionales).
- Fortalecimiento de capital humano especializado para la captura, administración, procesamiento y simulación del comportamiento hidrológico e hidrogeológico de las cuencas.
- Diseño e implementación de sistemas de información integrada de variables relacionadas con los recursos hídricos de las cuencas, modelación de variables y simulación de condiciones hidrológicas y escenarios cli-

máticos. En este sentido, es fundamental el integrar datos y redes de información hidrológica generada por diversas instituciones (sector público y academia) y actores (empresas y OUAs), el generar modelación hidrológica/hidrogeológica, el simular escenarios de mediano y largo plazo evaluar medidas de gestión, y el disponibilizar esta información a usuarios y tomadores de decisión de la cuenca.

DIMENSIÓN 2: Inclusión, articulación y coordinación entre actores vinculados a los recursos hídricos (vinculación ciencia, empresa, sociedad)

DIAGNÓSTICO 2016 (BRECHAS)	ESTADO ESPERADO 2030
<ol style="list-style-type: none"> Visión restringida de actores vinculados a la gestión de los Recursos Hídricos. Reducido análisis y caracterización de actores (incumbentes, no incumbentes con y sin derechos de aprovechamiento de agua), y su poder de intervención. Falta de coordinación para la gestión de información de parte de instituciones públicas y otros actores de la cuenca. Carencia de instancias y mecanismos de coordinación de actores vinculados al agua por cuenca (incumbentes y no incumbentes). Inexistencia de mecanismos de fomento a la participación en instancias de coordinación de las cuencas. Inexistencia de un marco jurídico que promueva la Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Inexistencia de una estructura de gestión de cuenca (consejo directivo) que coordine a actores y sus tomas de decisiones (incumbentes y no incumbentes). Ausencia de relaciones entre planes de ordenamiento y el uso del agua en el territorio. Escasa capacidad de fiscalización de parte de instituciones públicas y privadas. Falta de normativa para que las OUAs tenga por finalidad administrar los recursos hídricos con instrumentos de GIRH. Dificultad para gestionar en marco de extrema complejidad e incertezas (diferencias entre cuencas; impactos inesperados en el largo plazo; cambio climático; efecto mariposa). 	<ol style="list-style-type: none"> Contar con una estructura de gestión integrada en recursos hídricos que promueva diálogos, coordine las acciones de diferentes actores de la cuenca (incumbentes, no incumbentes), y genere consensos vinculantes con la toma de decisiones sobre el territorio. (para abordar brechas 1,2,3,4 y 7). Contar con un marco jurídico que establezca la GIRH, promueva la planificación del territorio y la vinculación y coordinación entre diferentes actores. (para abordar brechas 5,6,8,10 y 11). Contar con plataformas de vinculación entre unidades científicas (Universidades y Centros de I+D), empresas, instituciones del sector público y representantes de organizaciones de usuarios del agua, que integre la toma de decisiones con la CTI, para dar soluciones a la escasez y sostenibilidad de los recursos hídricos (para abordar brecha 11).

Programas priorizados

2.1. Promover conformación de plataformas de vinculación entre sector científico, representantes del sector privado, representantes de la sociedad civil, e instituciones públicas relacionadas con los recursos hídricos (identificación, caracterización, sociabilización del proceso entre actores).

Se considera que una de las condiciones necesarias para iniciar procesos de gestión integrada de recursos hídricos es generar plataformas que favorezcan procesos de interrelaciones entre las diversidad de actores que participan en la toma de decisiones sobre los recursos hídricos en las cuencas, y de esta manera generar puntos de encuentros entre las demandas de conocimiento y la oferta científica y tecnológica de los territorios.

Para esto se ha definido como objetivo de este programa estratégico el promover la conformación de plataformas de vinculación entre sector científico, representantes del sector privado, representantes de la sociedad civil, e instituciones públicas relacionadas con los recursos hídricos (Identificación, caracterización, sociabilización del proceso entre actores). Para esto se proponen las siguientes medidas:

Constituir una Mesa nacional de CTI para la sustentabilidad de los recursos hídricos que permita la vinculación y coordinación entre representantes de la academia, el sector privado y de instituciones del Estado, y representaciones regionales, para definir y apoyar la implementación de acciones prioritarias en CTI desde una mirada nacional.

Constituir Mesas regionales de recursos hídricos para la vinculación y coordinación entre representantes de la

academia, el sector privado y de instituciones del Estado, para definir y apoyar la implementación de acciones prioritarias en CTI de acuerdo a las realidades de cada cuenca, entendiendo esta como la unidad territorial a intervenir.

2.2. Desarrollar estudios que faciliten procesos y apoyen el establecimiento de gobernanzas de recursos hídricos por cuenca: (rol, funcionamiento de organizaciones, aporte de las ciencias sociales y económicas)

Tal como se mencionó, nuestro país tiene la responsabilidad de incluir diferentes miradas de los actores vinculados a los recursos hídricos en las cuencas y la forma de vincularse con su territorio. Es a través de la generación de espacios comunes y de diálogo, el reconocimiento y representatividad de diferentes territorios y visiones de desarrollo sostenible en la toma de decisiones, la generación de consensos sin imposiciones, entre otras características, que finalmente se facilitará la implementación de políticas y regulaciones que promuevan una gestión e intervención integrada de recursos hídricos. Dada esta visión, la mesa 3 se planteó como objetivo el "contar con un análisis de las condiciones organizacionales y sus relaciones en los contextos territoriales para la implementación de una institucionalidad que permita una gestión sustentable de los recursos hídricos en las cuencas de Chile".

Para esto, se proponen algunas medidas para fomentar el desarrollo de programas de investigación y estudios de las cuencas y los actores que las componen, relacionadas con las ciencias sociales, ciencias económicas y ciencias de la tierra, entre otras. Estas medidas son:

Caracterización de los límites naturales y comportamiento de los recursos hídricos en las cuencas, a partir de estudios topográficos y geofísicos que permitan realizar este levantamiento. Además, se deberá considerar la infraestructura y topografía que regula y/o altera la dinámica del agua en las cuencas y las estructuras organizacionales actuales que rigen sobre ellas.

Mapeo y caracterización de los actores de mayor relevancia en la administración actual de la cuenca, considerando incumbentes y no incumbentes, a través de estudios desde las ciencias sociales. Esto considerando que, en el nuevo modelo de gobernanza de la cuenca, éstos deberán ser parte integral de la toma de decisiones sobre el uso de los recursos hídricos en cada cuenca.

Diseño de un Modelo para la gestión y administración de los recursos hídricos de las cuencas que establezca los mecanismos, alcances, pesos relativos, áreas de competencia y grado vinculante de la toma de decisiones.

Identificación, análisis y determinación de distintas herramientas y/o instrumentos, que promuevan una gestión integrada de recursos hídricos (monitoreo, modelos, simulaciones, marco jurídico fiscalización, OUAs, infraestructura, entre otros), a través de procesos de participación de actores incumbentes y no incumbentes.

Identificación de indicadores que permitan determinar los umbrales que se debieran cumplir a través de la GIRH para avanzar en el logro de una visión objetivo de la cuenca. Esta visión debería gestarse de manera consensuada entre actores incumbentes y no incumbentes, a través de procesos de participación.

DIMENSIÓN 3: Valor y uso sostenible de los recursos hídricos

DIAGNÓSTICO 2016	ESTADO ESPERADO 2030
<ol style="list-style-type: none"> 1. Falta de una política nacional de educación para la sostenibilidad. 2. Dificultad para identificar, delimitar e integrar dimensiones sociales, económicas y ecosistémicas en decisiones políticas. 3. Bajo nivel de posicionamiento sobre el valor múltiple del agua para el desarrollo estratégico de los territorios y del país. 4. Escasa identificación y valoración de los servicios ecosistémicos del agua. 5. Escasas actividades de extensión/outreach en materia de recursos hídricos. 6. Falta de campañas de difusión en el uso sostenible del agua. 7. No existen instancias y/o programas de educación/cultura dirigidos a relevar el valor ecosistémico del agua. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Contar con un Plan Nacional de Educación, que releve la sostenibilidad de los recursos hídricos como base de los servicios ecosistémicos (para abordar brechas 1,4,5 y 6) 2. Contar con una política de Estado que consigne el agua como elemento esencial para el desarrollo social, productivo y ambiental de nuestro país (para brechas 2 y 3). 3. Una ciudadanía más informada sobre el valor, uso y sostenibilidad de los recursos hídricos (brecha 7). 4. En el territorio existe una mirada integradora de los distintos usos del agua; ambiental, social y económico (brechas 2, 3, 4, 6 y 7). 5. Los diferentes usos productivos del agua en la cuenca buscan disminuir las pérdidas y aumentar la eficiencia del uso de los recursos hídricos (brechas 1, 3, 4, 6 y 7).

ANÁLISIS DE BRECHAS

La investigación científica en recursos hídricos debe responder al compromiso de comprender mejor el comportamiento del ciclo hidrológico en las cuencas hidrográficas, conocer las características de sus ríos, lagos, humedales y acuíferos, relevando su rol desde la mirada ecosistémica y evaluando las diferentes visiones de desarrollo y calidad de vida de las personas que habitan los territorios. Junto con esto, es preciso relevar la importancia de los valores patrimoniales, culturales, escénicos, emotivo-sensoriales, sentimentales y lúdicos relacionados con el agua-territorio.

Es necesario hacer un gran esfuerzo por concientizar a la sociedad en su conjunto de que el objetivo principal en la gestión debe ser recuperar y mantener el buen estado ecológico de los ecosistemas fluviales. El agua y el medio natural no son propiedad de una generación, todo lo contrario, ésta dispone de su usufructo y tiene el compromiso y obligación de conocer las potencialidades de los recursos que encierra el territorio, con el objeto no de explotarlos hasta su agotamiento, sino de protegerlos y cuidarlos para que otras generaciones puedan disfrutar de ellos.

Bajo esta mirada, la mesa ha propuesto tres programas estratégicos que buscan establecer áreas de trabajo considerando: i) el componente social a través de los procesos de educación y cultura del agua, con ii) el componente productivo, a través de la gestión eficiente del recurso hídrico por parte de los usuarios y sectores demandantes del recurso, y iii) el componente ambiental, a través de rol ecosistémico del agua.

Estos programas son:

3.1. Programa de Educación y Cultura del Agua

3.2. Programa para promover una correcta gestión de la demanda de agua por cuenca.

3.3. Programas de I+D que releven el valor ecosistémico y el uso sustentable de los recursos hídricos en Chile.

Programas priorizados

3.1. Programa de Educación y Cultura del Agua

Desde nuestra mirada, es necesario reivindicar el rol y valor natural, ambiental, social, escénico, patrimonial y cultural del agua, avanzando hacia una nueva forma de entender lo valioso de este recurso, y asegurando que a través de una gestión integrada, prevalezca el uso racional y sostenible del recurso hídrico. La mesa 3, ha definido como objetivo el implementar un programa en cultura del agua que socialice el valor multidimensional de los recursos hídricos (político, social, económico, cultural, ancestral, ambiental).

Para esto, se han definido 3 medidas que operativizan el programa:

- Divulgación de ciencia y transferencia del conocimiento (Outreach), buscando transferir el conocimiento sobre recursos hídricos al aula a través de actividades extraprogramáticas (Explora, cafés científicos).



- Puesta en valor de los conocimientos interculturales del agua a través del reconocimiento del agua como un bien de uso público garantizado en calidad y disponibilidad por el Estado, en especial para las culturas ancestrales.
- Reconocimiento y valoración de la multidimensión del uso y valor ecosistémico del agua con los diferentes actores de las cuencas.

3.2. Programa para promover una correcta gestión de la demanda de agua por cuenca.

Este programa representa una de las áreas estructurales de trabajo cuando hablamos de Gestión Integrada de Recursos Hídricos, y constituye una de las herramientas de gestión existentes que otorga mayores facultades a los usuarios para fortalecer la administración del agua, y el uso responsable y eficiente de este recurso. En este sentido, esta subcomisión propone como objetivo mejorar la gestión de la demanda de agua en las cuencas, integrando los diferentes usos del agua, el desarrollo económico que sustenta, las prácticas empresariales asociadas al uso del recurso y los riesgos sociales y ambientales asociados al agua.

Para cumplir este objetivo, se propone:

- Identificar y caracterizar usos y usuarios de aguas en las cuencas, sus demandas y consumos de acuerdo a sus vocaciones de uso (productivos, ecológicos ambientales, sociales), considerando aspectos espaciales y temporales de los usos)
- Promover la generación de rendiciones de cuentas (accountabilities) de recursos hídricos ante la comunidad de la cuenca (incumbentes y no incumbentes).
- Promover/fomentar buenas prácticas empresariales en las cuencas (tecnologías, eficiencia, reúso, autocontrol, entre otras), a través de la entrega de la información existente respecto a los acuíferos, extracciones y monitoreo realizado por las empresas.
- Contar con enfoque de riesgo a nivel de cuenca desde la perspectiva de déficit de agua, exceso o inundaciones, como también ante eventos de contaminación o calidad de agua.

3.3. Generación de programas de I+D que releven el valor ecosistémico y el uso sustentable de los recursos hídricos en Chile.

Otro de los ámbitos estructurales de la agenda de CTI para una GIRH es el generar estudios que permitan conocer la ecología de los cuerpos fluviales en los diferentes componentes del ciclo hidrológico, así como los servicios que brindan y las condiciones que permiten mantener y regular la cantidad y calidad del agua en sus ecosistemas asociados. Es necesario comprender que los cuerpos de agua en las cuencas, no son solo recipientes de almacenamiento, sino ecosistemas vivos y complejos, de cuya salud también depende la salud de los habitantes de estas cuencas.

De esta manera, la mesa propone como objetivo de este programa estratégico el promover los conceptos del agua como parte de los ecosistemas y de soporte de la biodiversidad, así como el uso sustentable de los recursos hídricos. Para esto, se plantean las siguientes medidas:

- Determinar y caracterizar categorías y/o áreas prioritarias para el desarrollo de proyectos de I+D sobre los ecosistemas acuáticos de Chile. Además, se propone identificar las brechas para lograr la determinación de áreas temáticas y de territorios a priorizar.
- Categorizar ecosistemas acuáticos en función de su vulnerabilidad y priorizarlos para su conservación, restauración y uso sostenible. Además, se buscará promover la gestión de los indicadores de la salud de los ecosistemas acuáticos, para orientar y mejorar la toma de decisiones.
- Diseño y validación de metodologías para determinar caudales ambientales, y bienes y servicios ecosistémicos asociados a las cuencas y subcuencas de Chile



Este documento fue editado, diseñado y corregido por el equipo de la Secretaría Ejecutiva del Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo con el valioso aporte del equipo de apoyo de CREDEN y de la Dirección de Comunicaciones de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Santiago de Chile, diciembre de 2016

cnid | Consejo Nacional
de Innovación
para el Desarrollo