

Gestión Integrada de Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Rapel

Informe Final (Etapas 1 y 2)

Gabriella Bennison¹, Rodrigo Rojas², Edmundo Claro¹, Victor Gálvez¹, Robert Bridgart² y Mauricio Caroca¹

¹Fundación CSIRO Chile Research, Agua y Territorio, Chile; ²CSIRO, Australia

Abril 2021

Financiado por el Gobierno Regional de O'Higgins y su Consejo Regional



Cita

Bennison G, Rojas R, Claro E, Gálvez V, Bridgart R y Caroca M (2021) Gestión Integrada de Recursos Hídrico Cuenca del Río Rapel –Informe Final (Etapas 1 y 2). Fundación CSIRO Chile Research.

Derechos de Autor

© Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation 2017. El derecho a publicar y divulgar los contenidos de este documento a terceras partes está sujeto al cumplimiento de las siguientes condiciones:

- a) los contenidos deben ser publicados y/o divulgados de manera no adulterada y de modo que reflejen lo más precisamente posible lo expresado en este documento, indicando siempre la fuente tal como se explicita en el acápite “Cita” más arriba y
- b) quien publique y/o divulgue los contenidos debe asegurarse de que no sean usados de modo que sugieran que CSIRO, y/o CSIRO Chile, apoya sus actividades o estén vinculados a ninguna publicidad, propaganda, resolución de disputas, anuncio comercial, sesión de inversionistas o levantamiento de capital.

Descargo Importante

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

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

Contenidos

Agradecimientos	ix
Resumen Ejecutivo	x
Sección I Introducción y antecedentes	14
1 Introducción	15
1.1 GIRH y procesos participativos.....	15
1.2 Alcance del proyecto y objetivos	17
2 Antecedentes	19
2.1 Contexto social y económico	19
2.2 Geomorfología, clima e hidrología.....	20
2.3 Marco legislativo	21
2.4 Actores de la cuenca	22
2.5 Usos del agua	22
2.6 Gestión del agua y desafíos.....	24
Sección II Metodología	27
3 Metodología	28
3.1 Marco conceptual del Proyecto	28
3.2 Análisis de actores y proceso participativo	30
3.2.1 Identificación de actores y proceso participativo.....	30
3.2.2 Análisis de actores	32
3.3 Visión compartida	34
3.3.1 Desafíos, necesidades y oportunidades	34
3.3.2 Elementos de la visión y su validación.....	36
3.3.3 Influencia de los actores sobre la visión	42
3.4 Herramientas de gestión de recursos hídricos	42
3.4.1 Levantamiento de información	42
3.4.2 Definición de herramientas de gestión de recursos hídricos	48
3.4.3 Evaluación costo-beneficio de la implementación de herramientas	52
3.5 Desarrollo de herramienta SimRapel.....	59

3.5.1	Modelos hidrológicos	59
3.5.2	Estrategias hídricas e indicadores de impacto	70
3.6	Gobernanza de recursos hídricos.....	74
3.6.1	Desarrollo de propuesta de gobernanza para la CRR.....	75
3.6.2	Experiencias de modelos de gobernanza	77
3.6.3	Principios de diseño para una gobernanza.....	80
3.6.4	Alternativas de gobernanza.....	82
Sección III Resultados y conclusiones		84
4	Resultados	85
4.1	Análisis de actores.....	85
4.1.1	Análisis de partes interesadas	85
4.1.2	Análisis de redes sociales (SNA).....	89
4.1.3	Comparación de los diferentes análisis de actores empleados.....	100
4.2	Visión compartida	101
4.2.1	Elementos de la visión compartida y su narrativa.....	101
4.2.2	Influencia de los actores sobre la visión	103
4.3	Herramienta SimRapel	107
4.3.1	Modelación integrada.....	108
4.3.2	Interfaz web.....	123
4.4	Gobernanza de la Cuenca del Río Rapel.....	134
4.4.1	Propuesta de gobernanza.....	134
4.4.2	Reglamento Transitorio	142
4.4.3	Validación de la propuesta de gobernanza	146
5	Conclusiones	149
	Referencias	151
	Anexo A	158
A.1	Sistema de monitoreo de la CRR.....	158
A.2	Fichas de herramientas definidas	166
Anexo B		184
B.1	Funciones y reglas del Grupo Asesor.....	184
B.2	Gobernanza: casos revisados	186

Figuras

Figura 1. Alcance de las dos etapas del proyecto.....	18
Figura 2. Alcance de la Cuenca del río Rapel (elaboración propia).....	19
Figura 3. Marco conceptual del Proyecto.....	29
Figura 4. Estructura del proceso participativo.	31
Figura 5. Treemap que identifica los elementos recurrentes levantados por los actores clave para la visión de la CRR.....	41
Figura 6. Diagrama explicativo de la interacción de las posibles herramientas identificadas y los elementos claves discutidos por los actores durante los talleres.	50
Figura 7. Marco de modelado integrado para la cuenca del río Rapel. El recuadro verde se relaciona con las herramientas de modelado de la gestión de aguas superficiales / aguas, mientras que el recuadro azul se relaciona con el modelado del agua subterránea. Adaptado de Zambrano-Bigiarini y Pagliero (2016).	60
Figura 8. Representación esquemática del ciclo hidrológico en SWAT (Neitsch et al. 2011).	61
Figura 9. Ejemplo de representación topológica de la subcuenca de Alhué y confluencia del río Alhué en el embalse Rapel. Contribuciones naturales (AN-XX), estaciones de aforo (nodos cuadrados rojos claros), demandas de riego (flechas verdes), flujos de retorno de los distritos de riego (cuadrados verdes), contribuciones del acuífero al sistema de aguas superficiales (cuadrados rojos), contribuciones de las subcuencas laterales (CL-XX), embalse Rapel (EM-02), central hidroeléctrica (triángulo azul invertido) y tramos fluviales (flechas negras).....	62
Figura 10. Ejemplo de cuadrícula de modelos MODFLOW para a) Acuífero Cachapoal y b) Acuífero Tinguiririca. Los polígonos de colores representan las zonas de riego / recarga y la red fluvial, mientras que los puntos rojos representan los pozos de bombeo del catastro oficial de la Dirección General de Aguas para el año 2019.	63
Figura 11. Configuración espacial de subcuencas y red fluvial simulada en SWAT. Los puntos azules en el panel b) representan los embalses de Rapel y Convento Viejo.	64
Figura 12. Zonas de riego usados en el modelado MAGIC. Zonas de riego en rojo no consideradas en el análisis (ZR-13) o anexadas a zonas existentes (ZR-06).....	66
Figura 13. Identificadores de acuíferos utilizados en el modelado MAGIC. Acuíferos en rojo no incluidos en el análisis.	68
Figura 14. Embalses incluidos en el modelo MAGIC. Nuevos embalses considerados en evaluación de estrategias en rojo: Las Cayanas en la subcuenca Cachapoal; Bollenar en la subcuenca del Río Claro de Rengo y Río Claro en la subcuenca de Tinguiririca.	69
Figura 15. Matriz poder-interés del Grupo Asesor.....	86
Figura 16. Centralidad de <i>grado</i> para la red de colaboración. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de grado. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.....	90
Figura 17. Centralidad de <i>cercanía</i> para la red de colaboración. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de cercanía. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.....	90

Figura 18. Centralidad de <i>intermediación</i> para la red de colaboración. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de intermediación. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.....	91
Figura 19. Centralidad de <i>valor propio</i> para la red de colaboración. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de valor propio. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.....	91
Figura 20. <i>Núcleo-periferia</i> para la red de colaboración en la CRR.....	92
Figura 21. Centralidad de <i>grado</i> para la red flujo de información. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de grado. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.....	93
Figura 22. Centralidad de <i>cercanía</i> para la red flujo de información. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de cercanía. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.....	93
Figura 23. Centralidad de <i>intermediación</i> para la red flujo de información. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de intermediación. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.....	94
Figura 24. Centralidad de <i>valor propio</i> para la red de flujo de información. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de valor propio. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.....	94
Figura 25. <i>Núcleo-periferia</i> para la red de flujo de información en la CRR.....	95
Figura 26. Centralidad de <i>grado</i> para la red de flujo de dinero. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de grado. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.....	96
Figura 27. Centralidad de <i>cercanía</i> para la red de flujo de dinero. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de cercanía. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.....	96
Figura 28. Centralidad de <i>intermediación</i> para la red de flujo de dinero. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de intermediación. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.....	97
Figura 29. Centralidad de <i>valor propio</i> para la red de flujo de dinero. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de valor propio. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.....	97
Figura 30. <i>Núcleo-periferia</i> para la red de flujo de dinero en la CRR.....	98
Figura 31. Dimensiones y elementos de la visión para la CRR.....	102
Figura 32. Red de baja influencia para el alcance de los elementos de la visión de la CRR.....	104
Figura 33. Red de alta influencia para el alcance de los elementos de la visión de la CRR.....	104
Figura 34. Reclasificación de actores con alta influencia en el alcance de los elementos de la visión....	106
Figura 35. Reclasificación de actores con baja influencia en el alcance de los elementos de la visión. ..	106
Figura 36. Resultados de hidrología histórica (Escenario 1) y tendencia de cambio climático (Escenario 2) para: a) cada una de las 66 subcuencas; y b) período de 38 años para la subcuenca de salida SB-01, Rapel.....	110

Figura 37. Subcuencas y reducciones promedio según escenarios. Subcuencas que muestran una reducción porcentual mayor que el promedio del 33% (resaltado en amarillo) al comparar la hidrología histórica (Escenario 1) con la tendencia del cambio climático (Escenario 2).....	110
Figura 38. Porcentaje de demanda de riego suministrada: a) en diferentes escenarios; y b) promedio en todos los escenarios.	111
Figura 39. Cambios en la seguridad del riego con respecto a la situación de la línea de base (Escenario 1) para cada zona de riego bajo escenarios específicos: a) tendencia al cambio climático, b) mejoras en la eficiencia del riego dentro de la finca, c) construcción de embalses adicionales, y d) combinación de embalses y mejoras en la eficiencia intrapredial.	112
Figura 40. Relación entre escenarios y máximo entre escenarios (QSCEN-i / QMax) para descargas totales y de riego.....	113
Figura 41. Tasas de recarga promedio (38 años) derivadas del modelo MAGIC en los 16 escenarios para a) acuíferos Cachapoal; y b) acuíferos Tinguiririca.....	114
Figura 42. Balance de aguas subterráneas (entradas y salidas) en la CRR para acuíferos: a-b) Cachapoal; c-d) Tinguiririca; y e-f) Alhué.	116
Figura 43. Descarga promedio a la salida de la cuenca para los escenarios analizados en SimRapel.	120
Figura 44. Descargas acumuladas anuales en la salida de la CRR.	120
Figura 45. Niveles de agua subterránea después de un período de simulación de 38 años para la situación de línea base (Escenario 1) en el acuífero Cachapoal.....	121
Figura 46. Niveles de agua subterránea después de un período de simulación de 38 años para la situación de la línea de base (Escenario 1) en el acuífero Tinguiririca.....	121
Figura 47. Niveles de agua subterránea después de un período de simulación de 38 años para la situación de línea base (Escenario 1) en el acuífero Alhué.	122
Figura 48. Relación del promedio espacial de los niveles de agua subterránea entre el inicio y el final del período de simulación para diferentes escenarios.	123
Figura 49. Diseño de la página principal de SimRapel.....	125
Figura 50. Serie de tiempo resultante del modelo vinculado a un elemento puntual específico, una capa espacial visible de punto.	127
Figura 51. Ventana de resultados SimRapel. Explicación detallada de la ventana de Resultados: 1. Botón de Contraer Ventana; 2. Botón de minimizar al fondo de la pantalla; 3. Botón de maximizar a pantalla completa; 4. Pestañas de salidas; 5. Encabezado del grupo de salidas; 6. Título individual de la salida; 7. Exportar la salida específica como texto al portapapeles; 8. Ajustar la altura vertical del icono del gráfico.	128
Figura 52. Control del selector de capas de mapa SimRapel.	129
Figura 53. Ventana de Información de Capa SimRapel.	129
Figura 54. Buscador de funciones SimRapel.....	130
Figura 55. Visualizador de datos globales (VDG) SimRapel.	131
Figura 56. Ejemplo de gráfico de araña SimRapel.	132
Figura 57. Ejemplo de serie de tiempo SimRapel.....	133
Figura 58. Ejemplo de gráficos de caja SimRapel.	134

Figura 59. Estructura organizacional gobernanza cuenca Rapel.....	137
Figura 60. El directoria como parte del Comité de Cuenca, ejercitando como una Corporación sin fines de lucro.....	140
Figura 61. Distribución de estaciones meteorológicas en la CRR (elaborado por CSIRO, 2016).....	158
Figura 62. Distribución de estaciones superficiales en la CRR (elaborado por CSIRO, 2016).	160
Figura 63. Distribución de estaciones subterráneas en la CRR (elaborado por CSIRO, 2016).	162
Figura 64. Distribución de estaciones que miden la calidad de aguas en la cuenca del Río Rapel (elaborado por CSIRO, 2016).	164
Figura 65. Ejemplo de plataforma WiseFlow© de la compañía WiseConn S.A.	166
Figura 66. a) Ejemplo pronóstico de caudales (semanal) reportados por la Oficina de Meteorología de Australia; b) Ejemplo pronóstico de caudales estacionales (mensuales) reportados por CDEC-SIC para la temporada 2015/2016.	168
Figura 67. Ejemplo de una plataforma de información reportando información / datos sobre sequías históricas, precipitaciones, temperatura y vulnerabilidad a la sequía, administrado por el Departamento de Gestión Integral de Riesgos (DGR), MINAGRI.....	171
Figura 68. Plataforma El Molino para la cuenca del rio Limarí. Ejemplo de un visualizador grafico incluyendo interfaz de usuario y despliegue SIG de información hidrometeorológica.	173
Figura 69. Ejemplo de herramienta de modelación integrada basada en el modelo SOURCE.	175
Figura 70. Ejemplo de modelación participativa utilizando la herramienta FlowLogo desarrollada por CSIRO.	179
Figura 71. Nexus Webs, CSIRO: ejemplo de sistema de apoyo a la toma de decisiones.	181

Tablas

Tabla 1. Estructura del proceso participativo.....	31
Tabla 2. Elementos de una visión para la cuenca del Río Rapel mencionados durante el primer taller. ..	36
Tabla 3. Beneficios de contar con mejor información, por sector relevante en la CRR.....	56
Tabla 4. Cuantificación de los beneficios de contar con mejor información en la CRR, aplicando la Regla de Nordhaus (elaboración propia).	58
Tabla 5. Pasos de tiempo utilizados para el modelado integrado de SWAT, MAGIC y MODFLOW en el presente proyecto.	63
Tabla 6. Rangos de parámetros calibrados del modelo SWAT empleado por Zambrano-Bigiarini y Pagliero (2016).	65
Tabla 7. Área para métodos de riego y sus eficiencias correspondientes empleadas en el modelo MAGIC.	66
Tabla 8. Eficiencia de transporte de la red de canales para cada subcuenca principal en la CRR.	67
Tabla 9. Equivalencia de acuíferos MAGIC y MODFLOW.	67
Tabla 10. Características de los embalses incluidos en el modelo MAGIC.....	69
Tabla 11. Uso probable de agua subterránea en m ³ /s para los principales estudios desarrollados en la CRR. CSIRO (2021) corresponde al presente proyecto y representa la estimación obtenida del último catastro de pozos disponible de la DGA hasta el 31-12-2019.....	70
Tabla 12. Escenarios analizados en el Proyecto SimRapel.	73
Tabla 13. Fortalezas y debilidades de los casos de gobernanza revisados (elaboración propia).....	78
Tabla 14. Análisis Poder – Interés del Grupo Asesor.....	85
Tabla 15. Descripción de los elementos de la visión utilizados en el análisis de redes para la CRR.	103
Tabla 16. Grupos originados para la red de baja influencia en el alcance de los elementos de la visión de la CRR.....	105
Tabla 17. Infiltración y recuperación de ríos para la calibración de estado estable MODFLOW de DICTUC (2005) versus resultados de línea base para los modelos MAGIC Rapel y MODFLOW para las subcuencas de Cachapoal, Tinguiririca y Alhué (CSIRO, 2021). Subcuenca de Alhué no consideró información de conductividades de cauce en MAGIC Rapel.	109
Tabla 18. Balance de aguas subterráneas del acuífero Cachapoal.....	117
Tabla 19. Balance de aguas subterráneas del acuífero Tinguiririca.	117
Tabla 20. Balance de aguas subterráneas del acuífero Alhué.....	118
Tabla 21. Presupuesto estimado para el funcionamiento del Comité de Cuenca.	141
Tabla 22. Comparación de las características de las redes de monitoreo de data meteorológica (elaborado por CSIRO, 2016).	158
Tabla 23. Comparación de las características de las redes de monitoreo de data aguas superficiales (elaborado por CSIRO, 2016).	160
Tabla 24. Comparación de las características de las redes de monitoreo de aguas subterráneas (elaborado por CSIRO, 2016).	162

Tabla 25. Comparación de las características de las redes de monitoreo de la calidad de las aguas (elaborado por CSIRO, 2016)..... 164

Tabla 26. Examples of English language publications analysing the effectiveness of Brazil's water governance regime..... 214

Agradecimientos

Este informe publicado por CSIRO es el resultado del esfuerzo colectivo de muchas personas.

Los autores agradecemos al Gobierno Regional de O'Higgins y su Consejo Regional por el financiamiento y aporte al desarrollo de los proyectos (Etapa I y II) que este informe reporta. En particular, agradecemos a Carla García y Marcelo Rojas, ejecutivos encargados de dichos proyectos. También agradecemos la participación de la Dirección Regional de Aguas, Libertador Bernardo O'Higgins (DGA) por su colaboración en la ejecución del proyecto.

De manera especial agradecemos a todos los miembros del Grupo Asesor de los proyectos, conformado por representantes de organismos estatales, organizaciones sociales, el sector productivo y el sector académico, quienes otorgaron apoyo continuo durante la ejecución de los proyectos a través de su participación en reuniones y talleres de trabajo, mediante la transferencia de información y conocimiento local relevantes, y por medio de la toma de decisiones con respecto al alcance e impacto de los proyectos ejecutados por CSIRO.

Estos proyectos no habrían sido posibles sin la colaboración e involucramiento de los actores clave de la cuenca del Río Rapel en los siete talleres participativos de trabajo. Gran parte de los resultados de este informe están basados en la información y conocimiento local levantado en estas instancias de participación y colaboración.

Además, agradecemos a Robert Hilliard por el conocimiento aportado y el tiempo dedicado al proyecto, particularmente durante la visita a terreno realizada en octubre de 2017. Asimismo, agradecemos a Vanessa Mancisidor por su aporte en la organización de los talleres de trabajo y los artículos desarrollados. Por otra parte, agradecemos el trabajo de Fernanda Trentacoste, Cameron Holley, Darren Sinclair y Carley Bartlett, quienes entregaron insumos clave para el desarrollo de la evaluación económica de las herramientas propuestas y revisión de modelos de gobernanza del agua. Es importante mencionar el crucial aporte de Hernán Blanco durante el primer proyecto, período durante el cual diseñó, implementó y facilitó el exitoso proceso participativo de este ejercicio. También agradecemos a Camilo Prats por su revisión final del informe.

Para terminar, estimamos que Graciela Correa se merece un reconocimiento especial. Sin su constante acompañamiento, su enérgico empuje y su virtuosa articulación de actores, es difícil imaginar la concreción de estos proyectos, al menos de la forma que finalmente tomaron. Su valioso aporte de conocimiento local y su continuo apoyo para llevar adelante las diferentes actividades también fueron claves para el logro de los objetivos perseguidos.

Resumen Ejecutivo

Como es bien sabido, los desafíos asociados a la gestión del agua para las próximas décadas en la zona central de Chile son enormes. La excepcional Megasequía que hoy afecta dicha zona parece ser un anticipo de una nueva normalidad hídrica que se avecina para esta parte del territorio, incluyendo a la Cuenca del Río Rapel (CRR). Esto enfatiza la necesidad de adecuarse a las nuevas condiciones climáticas por medio del establecimiento de nuevos esquemas de gobernanza y gestión del agua.

En efecto, en la CRR se espera que debido al cambio climático las lluvias disminuyan y caigan de manera más concentrada que en la actualidad. Es decir, si bien la cantidad de agua que precipitará durante una temporada determinada será menor, los períodos de lluvia serán más intensos y cortos. En pocas palabras, no sólo caerá menos agua, sino que su almacenamiento para su posterior uso será más difícil. Este cambio en los patrones de las precipitaciones a su vez aumenta los riesgos de inundaciones y fenómenos relacionados. También se proyecta que el cambio climático conllevará un aumento en la temperatura de la zona central de Chile, lo que aumentará la evaporación de los cuerpos de agua superficiales y acelerará los deshielos, reduciendo la acumulación de nieve y hielo en la cordillera.

Por su parte, se espera que la disminución de la oferta natural de agua en la CRR vaya acompañada por un aumento de la demanda por parte de los sectores productivos, tales como la agricultura, la industria, la minería, etc. También se estima que, debido al crecimiento de la conciencia ambiental en la población, aumentará la demanda por dejar agua sin consumir, por dejarla correr para el beneficio de los ecosistemas.

En suma, mientras se espera que disminuya la oferta natural de agua, también se espera que su demanda aumente. Así, si no se hace una gestión del recurso hídrico de manera integrada, anticipada, acordada y basada en la mejor ciencia disponible, es muy probable que en el futuro cercano éste tienda a escasear aún más que en la actualidad, lo que puede conllevar a conflictos sociales, al deterioro de ecosistemas y a pérdidas económicas significativas.

Desde un punto de vista técnico, la solución al desafío del agua en la CRR requiere de una respuesta integrada que incluya reducir su demanda, aumentar su oferta y consumirla de manera más eficiente. Si bien es posible que la mayoría de los actores de la CRR estén de acuerdo con una respuesta de esta naturaleza, equilibrar los diversos intereses que ellos representan, y que compiten por el agua, corresponde a un desafío muy complejo. Por ejemplo, mientras la agricultura, la minería, la industria y el sector sanitario están principalmente interesados en contar con agua suficiente para sus operaciones, las comunidades esperan contar con agua para sus necesidades básicas. Por su parte, mientras los conservacionistas están preocupados de que el agua no se contamine ni deje de alimentar a los ecosistemas, es probable que las autoridades hagan hincapié en el cumplimiento normativo.

Articular estas diferencias por medio de una gobernanza ampliamente acordada en la CRR es muy importante, principalmente en un ambiente de creciente desconfianza. Como se expresa desde hace tiempo en el ámbito internacional, la crisis del agua es principalmente una crisis de gobernanza (GWP, 2000). Más específicamente, la OCDE (2017) indica que para hacer frente a los desafíos del agua no basta con sólo las inversiones en infraestructura física; éstas deben ir acompañadas por instituciones que gestionen el agua y que estén integradas en marcos de gobernanza más amplios. En otras palabras, tan importante como los aspectos materiales y tecnológicos asociados a proveer, canalizar y consumir el agua, es la legitimidad del proceso, la validación de las decisiones tomadas por el conjunto de actores con intereses en el recurso hídrico (Kurki, 2016).

De este modo, el desafío en la CRR no es sólo técnico o científico, también es económico, social y político. En pocas palabras, uno de los desafíos más importantes es el de la gobernanza del agua a nivel local. Para avanzar en este camino, durante los últimos años CSIRO Chile impulsó un proceso participativo amplio y continuo que incluyó a diversos actores locales (consumidores, autoridades, industrias, agricultores, etc.) en un diálogo permanente acerca de cómo abordar de manera integrada los desafíos compartidos asociados a la gestión de los recursos hídricos de la CRR.

El presente informe demuestra el trabajo desarrollado por CSIRO Chile en el marco de los proyectos “Plan de Gestión Integrada Cuenca Rapel” (Etapa 1) y “SimRapel: Modelación Participativa para la Gobernanza del Agua” (Etapa 2), ambos financiados por el Gobierno Regional de la Región del Libertador General Bernardo O’Higgins y su Consejo Regional mediante el Fondo de Innovación para la Competividad (FIC).

En un periodo de más de 4 años de trabajo, se definió de manera colaborativa una visión compartida de la CRR para las próximas décadas, se identificaron una serie de herramientas de gestión hídrica relevantes para avanzar en el logro de la visión, se co-desarrolló una de estas herramientas para apoyar la gobernanza y la toma de decisiones colaborativa, y se co-construyó una propuesta de gobernanza del agua para la CRR. Este proceso permitió un diálogo abierto y transparente entre los diversos actores de la CRR alimentado por la mejor ciencia disponible, lo que a su vez permitió generar condiciones de confianza y el desarrollo de un trabajo continuo validado y legitimado socialmente, viabilizando la construcción de acuerdos entre las distintas partes para avanzar hacia una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) en la CRR.

El proceso participativo contempló la formación de un Grupo Asesor (GA) que consistió en 16 instituciones representantes de los actores clave de la cuenca del sector público, privado, sociedad civil y académico. El papel principal del GA fue apoyar el proceso de toma de decisiones, dirigir las discusiones y sesiones participativas hacia intereses y desafíos amplios y compartidos, y validar los resultados para su discusión con los demás actores relevantes de la cuenca. Se realizaron 16 sesiones de trabajo con el Grupo Asesor, además de 7 talleres participativos con un grupo extendido de actores relevantes a la gestión de la CRR (se contabilizaron 249 asistentes en total).

El proceso participativo se complementó y articuló con la metodología de “modelación participativa” utilizada para la implementación de la plataforma computacional SimRapel, parte de un grupo de 7 herramientas priorizadas por los actores durante el proceso de análisis de herramientas para la gestión del agua en la CRR. La modelación participativa cumplió una doble función: por un lado, apoyó el desarrollo de la herramienta para ajustarla a la realidad de la CRR y por otro fortaleció el trabajo conjunto entre los actores a través de un proceso en que los actores pudieron lograr un entendimiento común de los problemas. Para ello, SimRapel integró, acopló, y actualizó el estado del arte en materia de modelos hidrológicos que han sido desarrollados por diversas organizaciones (DGA, DICTUC, EULA, etc.) e integró los resultados del análisis de actores y las condiciones de gobernanza colaborativa entre los actores clave de la cuenca. SimRapel despliega los resultados de la modelación de 16 escenarios definidos como relevantes por los actores de la CRR entre los que se destacan: proyecciones futuras del cambio climático; mejoras en la eficiencia del riego intrapredial; construcción de tres embalses (Las Cayanás, Bollenar y Río Claro); implementación de la recarga de acuíferos gestionada (RAG); y distintas combinatorias de estas estrategias.

Los resultados de la modelación integrada muestran que la CRR es vulnerable a los impactos potenciales del cambio climático en el futuro a mediano y largo plazo. Estos impactos son más notorios durante años de bajo caudal y en subcuencas intermedias a subcuencas aguas abajo. Los escenarios evaluados impactan de manera diferente temporal y volumétricamente los resultados del balance hídrico, el rendimiento del agua y las eficiencias en toda la cuenca. Considerando la demanda de riego como el uso de agua dominante en la cuenca, se requiere una combinación de estrategias para aumentar la seguridad hídrica para este grupo de usuarios. Esta combinación requeriría mejoras en la eficiencia del riego dentro de los predios, nueva

infraestructura hidráulica (debidamente dimensionada para impactos en toda la cuenca) e implementación de RAG para aprovechar los volúmenes excedentes durante los meses de invierno.

La implementación de SimRapel permitió a los usuarios explorar procesos hidrológicos (subterráneos y superficiales) en la CRR, y entender las posibles trayectorias de la cuenca en base a criterios y objetivos económicos, ambientales, y sociales. Esta herramienta permitió apoyar y evaluar elementos críticos de la gobernanza como la visión compartida; las necesidades y desafíos identificados por los actores; entre otros elementos.

Este proceso facilitó la relación e interacción entre los integrantes del GA y otros actores en temas de gestión hídrica mediante un proceso de toma de decisiones transparentes, efectivas e inclusivas. Para llevar adelante la implementación de la visión compartida, se validó de manera colectiva una estructura de gobernanza adaptada a la realidad del modelo hídrico-social identificado. La gobernanza de la cuenca se plantea sobre la base de la institucionalidad regional actual, por lo cual su puesta en funcionamiento puede realizarse sin depender de cambios estructurales en la normativa.

La estructura organizacional de la gobernanza propuesta contempla diferentes instancias de participación, cada una con distintos roles complementarios. El Comité de Cuenca fue el enfoque definido para la propuesta de gobernanza, el cual tiene por objetivo recoger las necesidades de los actores locales y otras iniciativas relevantes en la cuenca, proponer ideas y elaborar e implementar un Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (PGIRH) para lograr la visión de la cuenca. Se destacó la importancia de que el Comité de Cuenca tenga autonomía y que sea independiente de intereses particulares provenientes del sector privado, del sector público o de la sociedad civil. En este sentido, se propuso que el Comité de Cuenca deba materializarse en una Corporación de derecho privado sin fines de lucro. Este trabajo derivó en el desarrollo de un reglamento transitorio que tiene por objetivo ejercitar al Comité de Cuenca bajo un esquema de una Corporación sin fines de lucro, pero sin los requerimientos de una entidad legalmente formalizada, la cual podría demorar en materializarse dado a los diferentes intereses que la gobernanza tiene que satisfacer y los recursos que tiene que levantar para su ejecución y mantención en el tiempo.

De esta manera los principales resultados de este proyecto (Etapas I y II) pueden resumirse como sigue:

- El establecimiento de un proceso participativo continuo entre actores a nivel de cuenca, incorporando aquellos actores que normalmente no están incorporados en los procesos de toma de decisiones (ej. Agua Potable Rural (APR), representantes del medio ambiente y el turismo, etc.).
- La generación de confianza entre actores que no conocían antes y con concepciones preconcebidas. Se fomentó instancias en donde los actores podrían intercambiar el rol y actividades de su sector relacionado con la gestión del agua en la CRR.
- La identificación colaborativa de los principales necesidades, desafíos y oportunidades de la CRR, además de los principales vacíos en el conocimiento de acuerdo con la realidad de la cuenca.
- La definición de una visión compartida para la CRR hacia 2050, tomando en cuenta los ámbitos relevantes a la GIRH, incluyendo las dimensiones de disponibilidad y usos del agua, además de dimensiones ambientales, socioeconómicas e institucionales.
- La identificación de un conjunto de herramientas para facilitar la GIRH en la CRR y avanzar en abordar la visión compartida.
- El desarrollo colaborativo de la primera propuesta de gobernanza para la CRR, la cual fue acordada entre los principales actores de la cuenca.

- El desarrollo participativo de una herramienta (SimRapel) exploratorio e interactivo para apoyar a la gobernanza de la CRR, lo que permite visualizar, de manera conjunta, las interconexiones, compromisos y tendencias futuras del sistema completo, fomentando un análisis intersectorial e interdisciplinario. SimRapel es una herramienta de acceso libre y gratuito para su instalación y uso. También es flexible y extensible para la exploración colaborativo de nuevos escenarios hídricos.

A través del ejercicio de modelación integrada de la CRR, fue posible comprender que no existe una solución única para responder a los diferentes y complejos desafíos hídricos presentes y futuros de la cuenca. En cambio, una combinación de estrategias parece ser la mejor alternativa para enfrentar los desafíos hídricos, en donde los distintos acuerdos y trade-offs con beneficios y perjuicios están cuantificados y aceptados por parte de todos los actores clave.

El desarrollo de este trabajo también ha permitido reflexionarse sobre algunas consideraciones relevantes a la gobernanza local del agua. La implementación exitosa de una gobernanza permite zanjar diferencias, tomar decisiones más transparentes y lograr acuerdos, alentando a los distintos actores a trabajar colaborativamente en un desafío común para resolver un problema que ninguno puede resolver de manera individual. Sin embargo, es importante reconocer que la gobernanza del agua es un proceso continuo que toma tiempo. No existen soluciones perfectas y es necesario tener flexibilidad para seguir adaptándose a los cambios que ocurren en el tiempo de manera paralelo.

Por otra parte, cada definición de la gobernanza es diferente según el contexto local; no hay una solución que se puede copiar e implementar en todas las cuencas de Chile. Además, es muy importante que los actores clave acompañan el proceso desde el comienzo, no solamente desde la implementación, sino también desde la conceptualización y diseño de la gobernanza. De esta manera su implementación será mucho más apropiada al contexto específico, contará con legitimidad y generará un sentido de propiedad sobre el proceso y sus resultados.

Finalmente, se considera muy importante que estos procesos estén alimentados por la mejor ciencia aplicada disponible y que ésta sea confiable para todos, de modo que las discusiones estén sustentadas en entendimientos compartidos y las decisiones tengan los efectos deseados. El aporte formal y científico debe ser complementado con el mejor conocimiento local informal basado en la experiencia, el que muchas veces no se encuentra ni en los documentos científicos ni en los oficiales, ya que ha sido transmitido y conservado de manera oral y ejercido de manera práctica en el territorio.

Sección I Introducción y antecedentes

1 Introducción

1.1 GIRH y procesos participativos

La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) hoy en día domina el discurso sobre la gestión y la política de recursos hídricos (Saravanan et al., 2009), ocupando un lugar destacado dentro de las iniciativas de importantes organizaciones internacionales como la Agenda 21 del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Cumbre Mundial de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) sobre el Desarrollo Sostenible en 2002 (Mukhtarov y Gerlak, 2014) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas a los cuales Chile se encuentra adherido.

A pesar de que existen más de treinta definiciones de GIRH que compiten entre sí, el concepto es generalmente promovido como un enfoque que permite alcanzar un desarrollo de los limitados recursos hídricos de manera eficiente, equitativa y sustentable. Más específicamente, la GIRH se define como un proceso que promueve de manera coordinada el desarrollo y la gestión del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar económico y social de manera equitativa, sin comprometer la sustentabilidad de largo plazo (GWP, 2000). La GIRH, por lo tanto, puede entenderse como un proceso cuyo fin es la seguridad hídrica, es decir, garantizar la disponibilidad de agua en cantidad y calidad adecuada para la sociedad y ecosistemas enfrentados a cambios globales inciertos (López-Gunn et al., 2014).

No existe una manera única de implementar la GIRH y así diferentes países, regiones o territorios, han encontrado la forma de desarrollar un modelo propio de gestión de recursos hídricos, acorde a su realidad hidrológica, económica y social. No obstante la diversidad en su implementación, la GIRH posee ciertos principios comunes: a) la integración de los diversos aspectos de la gestión del agua, tales como los usos del agua por distintos sectores (industria, agricultura, sector sanitario, minería, entre otros) y los múltiples niveles de gobierno (local, regional, nacional e internacional); b) la promoción de las cuencas hidrográficas como unidades de gestión; y c) una mayor participación de los usuarios y las partes interesadas en los procesos de toma de decisión (Mukhtarov y Gerlak, 2014).

Existe un consenso generalizado en que la base territorial de la aplicación exitosa de una GIRH es la cuenca hidrográfica y que su aplicación debe ser gestionada a través de algún tipo de Organización u Organismo de cuenca (OC) (UNEP, 2012). Si bien los OC son una realidad aceptada, a nivel internacional el concepto agrupa a un amplio rango de organizaciones con diferentes tareas, responsabilidades, y diferentes grados de asociatividad de usuarios y niveles de participación en la toma de decisiones. Las características de los diferentes OC dependen de numerosos factores, tales como: las características físicas de la cuenca hidrográfica, las circunstancias sociales y culturales presentes en la cuenca, historia y nivel de maduración del OC, tipo y magnitud de problemas a los que tiene que hacer frente, circunstancias económicas, e incluso su tradición política, legal y su situación administrativa. Es por ello que uno de los temas principales que subyace en el concepto de OC como pilar fundamental de la GIRH, es la participación activa de las partes interesadas en el proceso de toma de decisiones en materias de gestión hídrica de una manera equitativa, transparente e inclusiva.

Hoy en día, la facilitación de procesos que promuevan la participación de las partes interesadas (usuarios, reguladores, sociedad civil, entre otros) se presenta como uno de los ejes principales para el éxito de la GIRH y, al mismo tiempo, si se falla en su implementación, como el mayor impedimento para la apropiación de las estrategias adoptadas por el OC por parte de la comunidad. Ciertos principios claves para una participación efectiva de las partes interesadas en la GIRH han sido identificados y corresponden a: a) asegurar la

transparencia acerca del proceso de participación y el nivel de toma de decisión otorgado a las partes interesadas, b) ser inclusivo y empoderar a aquellos actores en desventaja de participar, y c) desarrollar procesos que permitan a las partes interesadas apreciar otras perspectivas y, por lo tanto, actuar “razonablemente” en vez de “racionalmente” (Aslin and Brown, 2004; Curtis et al., 2016). Al mismo tiempo, un elemento clave en el desarrollo de una participación efectiva de las partes interesadas como pilar fundamental de la GIRH, es el denominado “capital social” (López-Gunn et al., 2014). Entenderemos por capital social a las relaciones sociales, redes de comunicación, nivel de confianza mutua, normas y reglas de operación (explícitas o tácitas), que emergen entre las partes interesadas en la gestión de las aguas cuando estos interactúan entre sí, y cuya existencia y puesta en operación resulta en beneficios adicionales para todos los actores (Curtis et al., 2016). En este contexto, la definición de procesos participativos que faciliten el diálogo, aprendizaje y acción promoverán la construcción del capital social cuando éste sea inexistente o esté fuertemente erosionado (Curtis et al., 2016), facilitando de esta manera los procesos participativos dentro de la GIRH.

A nivel nacional, la Política Nacional de Recursos Hídricos de Chile de 1999, la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025, la Política Nacional para los Recursos Hídricos 2015 y la actual Mesa del Agua 2019, concuerdan en el rol clave de la cuenca hidrográfica como unidad de gestión de los recursos hídricos y promueven como línea de acción fundamental la GIRH (DGA, 1999; MOP, 2013; Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015; MOP, 2020). Además, la Dirección General de Aguas (DGA) ha identificado entre los desafíos futuros sobre el agua en Chile el “generar una adecuada gobernanza para la gestión del agua por cuencas” entendiéndolo que “corresponde a la autoridad jugar un papel que facilite la participación y coordinación de los distintos actores, los cuales deben ser integrados en la toma de decisiones y en la administración del agua” (DGA, 2015). Si bien han habido diversos esfuerzos para materializar estas iniciativas, destacando la propuesta del Consejo Directivo de la CONAMA denominada “Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas” (ENGICH) del año 2007, donde se constituyeron los OC en tres cuencas piloto (Copiapó, Rapel y Baker) y se elaboró la primera versión de los Planes de Gestión de Cuenca en las mismas, éstos no tenían carácter normativo y no fueron usados para tomar decisiones en la gestión del agua (Banco Mundial, 2011). A pesar de un amplio discurso sobre la necesidad de la GIRH en Chile, los avances siguen siendo escasos, presentando un bajo nivel de implementación en el mundo (rankeado 159 de 172 países analizados) (UNEP, 2018).

Esta falta de avances en GIRH en Chile se debe en buena parte al contexto legislativo e institucional vigente, ya que favorece la planificación y la gestión hídrica por sector económico de manera independiente y dificulta un enfoque multisectorial enraizado territorialmente a nivel de cuenca. En este marco, los objetivos de política se han establecido sin tener en cuenta las implicaciones para otros usuarios del agua y sin consulta intersectoriales (Donoso, 2014). De acuerdo con el Banco Mundial (2011), los principales desafíos que enfrenta Chile en materia de GIRH son adoptar un enfoque de cuenca como unidad de análisis, planificación y gestión, fomentar la participación de los grupos interesados y mejorar los sistemas de información y comunicación.

Ideas similares a las anteriores son expresadas por el Banco Mundial (2013) al momento de hacer un diagnóstico comprehensivo para mejorar el marco institucional de la gestión del agua en Chile. En efecto, según este estudio uno de los principales desafíos que Chile enfrenta para progresar hacia una gestión del agua sustentable y eficiente es “lograr una gestión integrada de los recursos hídricos por cuenca”. Más específicamente, indica que, para avanzar en esta línea, entre otras cosas, es necesario: a) incluir y coordinar la participación de todos los usuarios e interesados de la cuenca en cuestión en la gestión del recurso hídrico; b) generar una visión de la cuenca coherente de mediano y largo plazo que oriente políticas, programas y proyectos; y c) mejorar la obtención de información, el manejo de datos y la generación del conocimiento de los recursos hídricos.

A nivel local, la Estrategia Regional de Desarrollo (ERD) 2011-2020 y el Plan Regional de Recursos Hídricos 2020-2029 identifican los siguientes lineamientos de acción: a) desarrollar una gestión eficiente de los recursos naturales, en particular, en términos de mejoras en la eficiencia de utilización y distribución de los recursos hídricos, b) desarrollar instancias participativas de acuerdo con las particularidades de los diferentes actores regionales, c) fortalecer las asociaciones público-privadas existentes, y d) establecer prioridades urgentes para el manejo integrado de recursos hídricos superficiales y subterráneos (Gobierno Regional, 2011; SEREMI de Agricultura, 2020). Bajo estas condiciones, resulta pertinente construir las bases de entendimiento, participación y confianzas entre los diferentes usuarios de las aguas a nivel regional, las cuales sirvan como punto de partida y finalmente sitúen a la Región de O'Higgins a la vanguardia en materia de gobernanza del agua y gestión sustentable de recursos hídricos a nivel país.

1.2 Alcance del proyecto y objetivos

El presente informe presenta el trabajo desarrollado en el marco de los proyectos “Plan de Gestión Integrada Cuenca Rapel” (Etapa 1) y “SimRapel: Modelación Participativa para la Gobernanza del Agua” (Etapa 2), ambos financiados por el Gobierno Regional de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins y su Consejo Regional mediante el Fondo de Innovación para la Competividad (FIC).

El objetivo general de los proyectos es promover la GIRH en la Cuenca del Río Rapel (CRR), basado en la experiencia y el conocimiento australiano en materia de gestión de recursos hídricos que tenga validez y legitimidad social. En específico, los objetivos son:

- Implementar un proceso participativo continuo con los actores clave de la cuenca para guiar las actividades de los proyectos, de modo que tengan validez y legitimidad social.
- Definir una visión compartida preliminar para el futuro de la cuenca en el largo plazo (2050).
- Evaluar los sistemas de información existentes de los recursos hídricos y del resto del sistema socio-ecológico presente en la cuenca (industrias, poblados, ecosistemas, etc.).
- Diseñar participativamente las actividades necesarias para desarrollar herramientas de gestión informáticas requeridas para la gestión integrada de los recursos hídricos de la CRR.
- Facilitar la relación e interacción de los integrantes del Grupo Asesor, y otros actores, en temas de gestión hídrica mediante un proceso de toma de decisiones transparentes, efectivas e inclusivas.
- Fomentar el capital social asociado a la gestión de los recursos hídricos en la CRR mediante un ejercicio de modelación participativa.
- Implementar la plataforma computacional SimRapel como herramienta de apoyo a la toma de decisiones del Grupo Asesor.
- Definir una estructura de gobernanza para la gestión de los recursos hídricos en la CRR que responda a la realidad del modelo hídrico-social identificado.

El mérito innovador de estos proyectos no consiste en la invención de nuevas ideas o tecnologías, sino en la aplicación de conceptos, metodologías y herramientas de gestión de recursos hídricos a la realidad de la CRR. El concepto central consiste en lograr un acuerdo amplio acerca de la manera que se tiene que gestionar los recursos hídricos en la CRR basado en los mejores conocimientos científicos disponibles. Esto implica el desarrollo participativo de modelos (hidrológicos, hidrogeológicos e hidro-sociales), y de herramientas de gestión, por medio de talleres en donde los actores y usuarios de la cuenca discuten estos modelos y herramientas, y exploran de manera conjunta e interactiva los desafíos hídricos que enfrentan. Esta integración entre ciencia y participación es algo que en Chile ocurre con poca frecuencia, ya que generalmente los procesos participativos se desarrollan independientemente de la actividad científica. De este modo, la permanente consulta e interacción con los actores clave permite que todas las actividades

realizadas están constantemente validadas y legitimadas por los interesados en los recursos hídricos. Esta característica del proyecto surge de la relevancia de la justicia procedimental de los procesos de toma de decisiones, en dónde no sólo importa las consecuencias que las decisiones tienen sobre la distribución de los recursos (en este caso hídricos), sino que también la manera en cómo se toman las decisiones con consecuencias distributivas.

A continuación, la Figura 1 destaca el alcance de las dos etapas del proyecto realizadas.

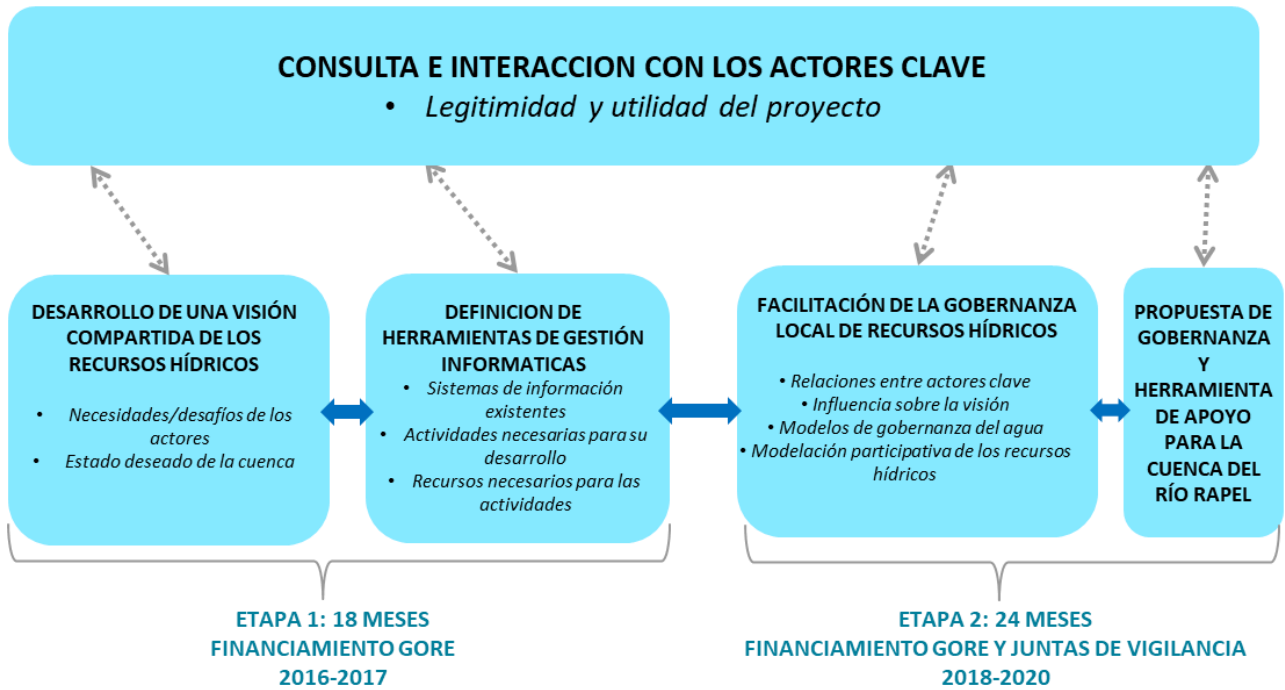


Figura 1. Alcance de las dos etapas del proyecto.

2 Antecedentes

2.1 Contexto social y económico

La CRR se ubica en Chile Central, situada entre los paralelos 33°53' y 35°01' de latitud sur con una superficie total de 13.767 km² (DGA, 2016). De acuerdo con la división político-administrativa, la CRR ocupa la mayoría de la VI Región del General Libertador Bernardo O'Higgins, donde se encuentra aproximadamente el 89% de la cuenca. El restante se distribuye entre las regiones de Metropolitana, Valparaíso y Maule. La CRR está conformada por las subcuencas de los ríos Cachapoal, Tinguiririca, Alhué y Rapel y comprende las provincias de Cachapoal, Colchagua, parte de las Provincias de Cardenal Caro y Melipilla (DGA, 2004). El 27% de la superficie de la cuenca está destinada a terrenos agrícolas. Por su parte, sólo un 1% se utiliza con fines urbanos e industriales y un 0,2% está ocupado por la minería industrial (DGA, 2004; Fundación Chile, 2015). La siguiente figura muestra el alcance de la CRR, su drenaje principal y los glaciares que alimenta la cuenca.

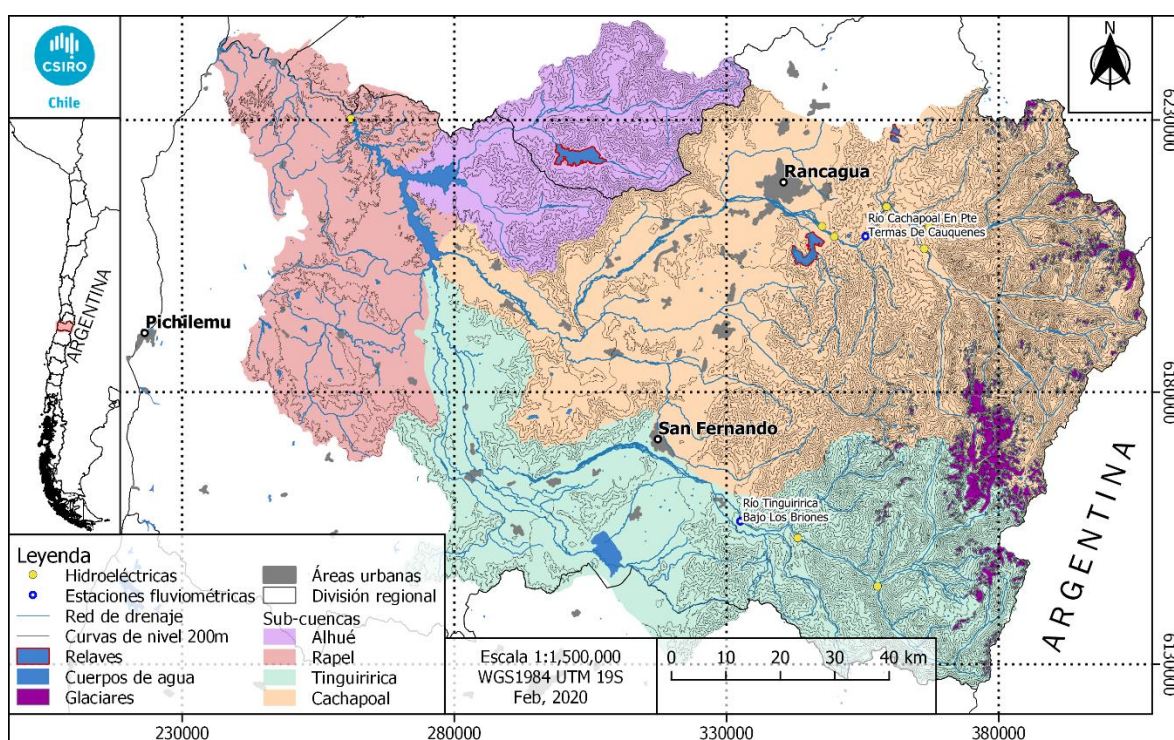


Figura 2. Alcance de la Cuenca del río Rapel (elaboración propia).

De acuerdo con el último censo nacional (INE, 2017), se estima que la población abarcada por la cuenca alcanza a alrededor de 866.000 habitantes, lo que incluye habitantes de la comuna Alhué de la Región Metropolitana y la comuna Tenorio de la Región del Maule. Los principales centros urbanos de la cuenca que concentran mayor población lo constituyen Rancagua y San Fernando, con 241.744 y 73.973 habitantes respectivamente, representando ambas un 36% del total de la población de la cuenca. Desde 2012 la CRR ha experimentado un incremento de población de alrededor de 2%. Los mayores cambios fueron en las comunas de Alhué, Machalí y Peumo que experimentaron cambios en el orden de +15% +11% y -10% respectivamente (INE, 2017; 2012). La distribución de la población urbana y rural para la cuenca está estimada como 72% y 28% (INE, 2017).

Dado que cerca del 89% de la superficie de la cuenca se encuentra en la Región y que las principales actividades productivas están ubicadas dentro de la cuenca, se puede asumir que la situación socioeconómica

de la región es representativa para la cuenca. Uno de los indicadores utilizados en Chile para caracterizar la situación socioeconómica del país es el Índice de Desarrollo Humano (IDH), lo cual mide el nivel de logro en tres dimensiones básicas de salud, educación e ingresos. La Región de O'Higgins tiene un IDH de 0,802, lo que corresponde al noveno lugar dentro el país y por debajo del promedio del país (0,847) (Global Data Lab, 2018).

Por su parte, la Región posee condiciones fisiográficas y geográficas que le otorgan a nivel nacional una importante relevancia en términos de producción económica. Al año 2018, el PIB regional alcanzó los \$6.735.000 millones, representando el 4,4% del PIB nacional. La actividad económica de la región está basada principalmente en las actividades silvoagropecuarias y mineras, cada una aportando al PIB regional 12,5% y 22,0%, y a su vez 18,7% y 9,6% al PIB nacional en su rubro respectivamente (Banco Central de Chile, 2018).

En efecto, la Región es muy importante a nivel nacional en términos silvoagropecuarios. De acuerdo con ODEPA (2020), en términos de superficie, concentra el 24,9% de los frutales del país el 13,7% de las hortalizas, el 6,7% de los cultivos anuales y el 33,6% de la industria vitivinícola. En materia de existencias (números de cabezas), la Región concentra el 35,8% de los cerdos, el 4,2% del ganado ovino y el 2,3% del ganado bovino. Con respecto al comercio exterior, la Región representa el 19,6% de las exportaciones silvoagropecuarias del país, el 45,3% de la fruta fresca, el 79,6% de la carne de cerdo, el 21,6% de los vinos y alcoholes, y el 62,1% de la carne de ave. En términos de la caracterización topográfica, la mayor parte de la superficie usada en el sector agrícola está localizada en la depresión central. La superficie plantada de frutales aumentó su extensión en un 26% entre 2007 y 2012 (ODEPA, 2015). La explotación forestal también es un rubro que va en aumento en la Región, con el 5,2% de los bosques plantados del país y el 3,1% del bosque nativo (INE, 2014; ODEPA, 2020). Las principales especies son pino radiata y eucalipto globulus, que se cultivan principalmente en San Fernando y Las Cabras.

El sector minero metálico más importante de la Región está representado por la gran minería del cobre de El Teniente, perteneciente a la compañía estatal Codelco, ubicada en la comuna de Machalí, a 50 kilómetros de la ciudad de Rancagua. El Teniente es el yacimiento de cobre subterráneo más grande del planeta. Respecto a su producción, alcanzó en 2015 a 471.200 toneladas de cobre fino (COCHILCO, 2016), representado un 8,2% del total de cobre producido en Chile. También, como resultado del procesamiento del mineral se obtuvo 6.817 toneladas finas molibdeno en el 2013 (Codelco, 2015a). Entre los minerales no metálicos se encuentra el Cuarzo, explotado en Doñihue, y el caolín, en Santa Cruz (DGA, 2004).

El sector industrial cuenta con actividades tan diversas como minería, industrias de alimentos, conservados, caldos concentrados (y otros alimentos deshidratados), industria avícola, fabricación de productos metálicos, fabricación de artículos de pulpa, papel y cartón, fabricación de vinos y servicios de saneamiento. La industria está representada también, por la fabricación de productos químicos industriales y frigoríficos relacionados con la conservación de todo tipo de carnes (DGA, 2004). El sector industrial también juega un papel importante en las exportaciones, pues representaron el 33,7% del total de exportaciones, donde el producto principal fueron los alimentos (INE, 2012).

Para más información detallada sobre la situación socioeconómico de la cuenca, se recomienda ver el informe de Fundación Chile (2015).

2.2 Geomorfología, clima e hidrología

Por su parte, la geomorfología de la CRR se caracteriza por tres grandes unidades de relieve: la Cordillera de los Andes, la Depresión intermedia y la cordillera de la Costa (DGA, 2004). Dichas unidades se originaron debido a una intensiva actividad volcánica hace dos o tres millones de años, la cual fue asociada a grandes movimientos de la corteza terrestre, resultando en el levantamiento de las montañas a su altura actual y el

hundimiento de la depresión intermedia, proceso que separó la cordillera de los Andes de la Cordillera de la Costa (Fundación Chile, 2015). La cordillera de los Andes, dentro de la CRR, presenta alturas superiores a los 4.000 m s.n.m., llegando a 5.000 m s.n.m. por el Alto de los Arrieros en la comuna de Machalí. En la depresión intermedia, los ríos han desempeñado un importante rol, los cuales han actuado como agentes de relleno en el moldeaje de la cuenca. En este sector, se encuentran los mejores suelos para fines agrícolas de la cuenca (Fundación Chile, 2015). En la cordillera de la costa, las alturas no sobrepasan los 2.000 m s.n.m. en la Región. La composición de la roca en esta zona permite la infiltración y acumulación local de pequeñas cantidades de agua subterránea (Dames & Moore, 1993).

El clima predominante en la CRR coincide con el Clima Templado Mediterráneo con estación seca prolongada en verano, la cual se caracteriza por variaciones por efectos en la topografía local, y un invierno marcado con temperatura extremas que pueden estar por debajo de cero grados Celsius (Hoffmeister, 2010). La costa se caracteriza nubosa, mientras se experimenta fuertes contrastes térmicos hacia el interior de la CRR debido a la sequedad. Hay una variación regional de precipitación de entre 450 y 1050 mm/año, donde la costa y la Cordillera de los Andes presentan las mayores precipitaciones, debido al relieve que no permite la entrada a los vientos húmedos oceánicos (Hoffmeister, 2010; SIIT, 2015). En Rancagua, la capital regional, la temperatura media anual es de 14,2°C (con grandes variaciones) y en verano las temperaturas máximas llegan a más de 28°C (DGA, 2004).

La CRR tiene un régimen hidrológico nival-pluvial mixto, con crecidas en el invierno y verano debido a las precipitaciones y deshielos respectivamente (DGA, 1996). A nivel espacial, regímenes nivales dominan en la parte alta de la cuenca y regímenes pluviales dominan en la subcuenca Alhué, el estero Zamorano y las subcuencas bajas de la cuenca. Los caudales anuales promedio documentados para el período 1981-2010 en los principales afluentes de los ríos Cachapoal y Tinguiririca son 89,0 m³/s y 50,2 m³/s respectivamente¹ (DGA, 2015). Asimismo, la cuenca tiene una capacidad de regulación de 932 Mm³ provista por el Embalse Rapel (695 Mm³) y el Embalse Convento Viejo (237 Mm³). Por su parte, hay cuatro acuíferos en la CRR denominados: Cachapoal, Alhué, Tinguiririca y Rapel (DGA, 2011).

2.3 Marco legislativo

La regulación del uso del agua en Chile se basa en las reglas del libre mercado. El cuerpo legal que rige el uso del agua es el Código del Agua de 1981, y está enmarcado en la implementación de políticas neoliberales enfocadas en el desarrollo económico (Larrain, 2006). El Código de Aguas de 1981 establece la propiedad de los derechos de aprovechamiento de agua (DAA) que se entienden como bienes comerciables transables entre diferentes usuarios (Bauer, 1998). Una vez que se han otorgado los DAA, éstos se rigen por la legislación de derecho civil privado (Vergara, 2018). Por lo tanto, las agencias gubernamentales son responsables de la regulación mientras que el sector privado está a cargo de la operación (Larrain, 2006). Bajo el alero del Código de Aguas de 1981, los usuarios del agua pueden crear organizaciones de usuarios para facilitar la toma de decisiones y resolver conflictos operativos entre sus usuarios (Bauer, 2004). Esta legislación fue planeada esencialmente para gestionar el uso de aguas superficiales, por lo tanto, minimizando el uso sostenible y la gestión de las aguas subterráneas (Vergara, 2018).

En el año 2005 se introdujo la primera reforma del Código de Aguas. Este conjunto de reformas apuntaba a regular el uso conjunto de las aguas superficiales y subterráneas, y apuntalar las limitaciones económicas como la especulación de los precios de los DAA (Rinaudo & Donoso, 2018). Actualmente, una nueva reforma

¹ Estaciones fluviométricas: Río Cachapoal en Puente Termas y Río Tinguiririca en Los Briones.

del Código de Agua está en discusión en el parlamento para definir las prioridades de uso del agua, y para revisar la forma de los derechos del agua, entre otras deficiencias.

2.4 Actores de la cuenca

En conjunto con la Federación de la Junta de Vigilancia de la Sexta Región y con la Dirección Regional de Aguas, se ha identificado más de 120 actores clave relacionados a la gestión de los recursos hídricos de la CRR que incluyen:

- **Sector Público:** corresponden a instituciones gubernamentales reguladoras (DGA, MMA, DOH, MINAGRI, SISS, Ministerio de Salud, Ministerio de Energía, MIDESO, etc.); agencias sectoriales (CNR, INDAP, CORFO, ONEMI, SAG, CONAF, SERNATUR, ASCC, etc.); Municipios; el Gobierno Regional. Se identificó 21 entidades regionales del sector público.²
- **Sociedad Civil y Sector Académico:** corresponden a grupos de la sociedad civil como asociaciones gremiales de consumidores (Asociación Gremial de Agua Potable Rural, asociaciones de pequeños agricultores, etc.), movimientos socioambientales, de turismo y organizaciones territoriales (CODEPRA, Mesas de Aguas Limpias, MUCECH, CEDESUS, etc.). Universidades y centros de investigación (UOH, CAA, INACAP, INIA, Horticulture, etc.). Se identificó 19 entidades regionales de la sociedad civil y el sector académico.
- **Sector Privado:** corresponden a los principales actores como la agroindustria y exportadoras (Agrosuper, Maxagro, Nestlé, Minuto Verde, Exportadora Garcés, etc.); la empresa sanitaria "Essbio"; empresas mineras (CODELCO, Minera Valle Central, etc.); empresas hidroeléctricas (Pacific Hydro, ENEL, Tinguiririca Energía, etc.) e industrias (Áridos San Vicente, Verallia Chile, Papelera Pacífico, etc.). El sector privado cuenta además con representación en las Organizaciones de Usuarios de Agua (OUAs) (Juntas de Vigilancia, Asociaciones de Canalistas, Comunidades de Agua)³. También existen asociaciones gremiales (Federación de Agricultores Cachapoal, Frusexta, Asproex, etc.), consultores, y entidades público-privadas como la Corporación del Libertador. En total se identificó alrededor de 80 entidades del sector privado, además de las Asociaciones de Canales y Comunidades de Aguas mencionadas.

2.5 Usos del agua

En la CRR existen diversos usuarios del agua, donde el consumo de agua total se aproxima a los 45,2 m³/s. El sector agrícola/agroindustrial es el mayor consumidor, representando el 93% del consumo total. Otros usuarios del agua relevantes son el suministro para consumo humano urbano/rural y el saneamiento, las grandes actividades mineras y la energía hidroeléctrica (Fundación Chile, 2015). En la CRR se han otorgado aproximadamente 144 m³/s en derechos de aprovechamiento de aguas (DAAs) superficiales, no habiendo agua superficial disponible para otorgar nuevos DAAs superficiales. Por su parte hay 52 m³/s otorgados en DAAs subterráneas, quedando aún 18 m³/s por otorgar antes de alcanzar el volumen definido como

² A nivel nacional, se reconocen más de 40 instituciones gubernamentales que tienen algún tipo de responsabilidad y rendición de cuentas en términos de gestión del agua (Banco Mundial, 2013).

³ De acuerdo con la CNR (2011), en la CRR hay 49 Asociaciones de Canales, 307 Comunidades de Agua y 18 Juntas de Vigilancia, de las cuales 11 se encuentran legalmente constituidas (FJVSR, 2020). Además, la Federación de Juntas de Vigilancia de Ríos y Esteros de la Sexta Región (FJVSR) representa más de 30.000 agricultores, propietarios de 190.000 hectáreas correspondientes al 90% de la superficie regada de la región (FJVSR, 2020).

sostenible por las autoridades (DGA, 2015). Este escenario, sumado a los efectos de una sequía de larga duración y los futuros impactos del cambio climático, ha provocado que los recursos hídricos de la CRR estén bajo una creciente presión.

El sector silvoagropecuario es el que mayor uso hace, aproximadamente el 93% de la CRR, lo cual implica 1.331 millones de metros cúbicos por año. Respecto al consumo de agua por cultivos, en primer lugar, se ubican los frutales (51%), seguido por cereales (31%), las viñas (5%) y las hortalizas (3%) (Fundación Chile, 2015). En términos de obras hidráulicas en la cuenca, el riego domina con 3400 km de canales, 9 embalses medianos a mayores y 334 embalses menores (MOP, 2012). Se estima que las eficiencias de riego son de un 37% para la subcuenca del río Cachapoal y un 36% para la subcuenca del río Tinguiririca, en comparación a un 54% para las cuencas costeras de la región de O'Higgins. Además, según la CNR (2011), para el 2011 existían 981 canales, sin embargo, hay 551 que no se encuentran regulados por ningún tipo de Organización de Usuarios de Agua (OUA). Existe contaminación difusa por fertilizantes y pesticidas, sin embargo, este sector corresponde a solamente un 2% de la contaminación del agua en la CRR (Fundación Chile, 2015).

De acuerdo con la Fundación Chile (2015), el sector minero corresponde a un consumo de 6% del agua en la CRR, que corresponde a alrededor de 77 millones de metros cúbicos por año. Por otro lado, la minería es responsable del 62% del agua contaminada en la CRR. Los relaves de la actividad minera de CODELCO Chile (División El Teniente) son vertidos en un embalse artificial (Carén) construido en la cuenca del estero Carén. Las aguas claras del embalse Carén continúan aguas abajo, a través del estero del mismo nombre y después de juntarse con las del estero Alhué, desembocan en el embalse Rapel (Centro EULA-Chile, s.f.). Basado en datos de Sernageomin, la faena El Teniente produjo en el año 2015, 29.346.336 toneladas de relaves (Sernageomin, 2016), y en el mismo año, se descargó 41.976.000 m³ de residuos líquidos, sobre aguas superficiales (Codelco, 2015b).

El sector industrial necesita un correcto suministro de agua en cantidad y calidad, y genera vertidos de muy diversa naturaleza, que pueden contener sustancias peligrosas. Este sector utiliza aproximadamente 4,6 millones de metros cúbicos de agua por año (<1% del total consumido en la CRR) y son responsables de contaminar 13 millones de metros cúbicos de agua anuales (alrededor de 2% del agua contaminada en la CRR) (Fundación Chile, 2015). Las principales fuentes emisoras de residuos industriales líquidos que inciden en la calidad del agua están dadas por las faenadoras de carne, industrias agroalimentarias y textiles, las cuales, de acuerdo con el Decreto N° 90/2000 del MINSEGPRES, descargan elevadas concentraciones de sólidos suspendidos, aceites y grasas (DGA; 2004; Fundación Chile, 2015).

En la CRR se genera la mayor parte de la energía necesaria para la Región de O'Higgins, representando un 6% de la capacidad total instalada en Chile. La Región cuenta con un total de 26 centrales generadoras (centrales de pasada y embalses), con una capacidad instalada de 1.033,85 MW de generación (CNE, 2020). El sector energético utiliza alrededor de 250.000 metros cúbicos de agua por año y no tiene impacto de contaminación en sus aguas (Fundación Chile, 2015). Si bien se considera el uso en el sector energético como extractivo, no es consuntivo, ya que prácticamente todo el recurso vuelve al medio.

El uso del agua en el sector doméstico en la CRR es alrededor de 11 millones de metros cúbicos por año, lo que corresponde a 1% del consumo del agua en la cuenca. El servicio doméstico en el sector urbano es provisto por Essbio S.A., que está encargada de la potabilización de agua, tratamiento de aguas servidas, mantención de alcantarillado y fiscalización de descarga de riles. Por su parte, en los sistemas rurales centralizados existen 164 Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) en la región, de las cuales solamente 106 tienen buen funcionamiento (Fundación Chile, 2015). En el caso de sistemas rurales descentralizados, comúnmente se utilizan pozos negros, letrinas, letrinas abonera seca y caseta sanitaria con fosa séptica y red de drenaje o pozo absorbente (PIRDT, 2009). El sector doméstico está responsable por 33%

del agua contaminada en la CRR, de lo cual 64% está atribuida a la población rural, a pesar de que representa solamente 30% de la Región (Fundación Chile, 2015).

El sector turístico y recreativo también es importante a considerar en cuanto al uso del agua. El Lago Rapel fue declarado Zona de Interés Turístico (ZOIT) y su oferta turística está principalmente relacionada con actividades náuticas, gastronómicas, de observación de aves y de pesca recreativa. El recurso esencial que funda el atractivo turístico del Lago Rapel y su entorno, es su valor ambiental, en particular, su valor paisajístico. Sin duda el atractivo principal y de mayor preocupación es el cuerpo de agua. La condición hidrológica del lago Rapel y de la cuenca es uno de los componentes fundamentales y la razón de ser de la actividad turística. Por lo tanto, las variaciones del nivel de las aguas, el consumo derivado de la operación de la central hidroeléctrica, los procesos de contaminación locales y exógenos, los fenómenos de sedimentación y el uso de las aguas de los cursos afluentes son elementos que influyen en el desarrollo y potenciamiento del turismo local. Otro de los temas importantes para el desarrollo de la actividad turística en un lago como el Rapel, es su comportamiento sedimentológico, fenómeno asociado a la turbidez de agua, al embancamiento, y a la presencia de sustancias minerales y orgánicas que favorecen la proliferación de algas, fenómeno que también se asocia entre otras causas, a la disminución de cota del lago (CODEPRA, 2014).

Por su parte, el agua tiene un rol importante en mantener la biodiversidad de la CRR. Existen una serie de parques y reservas nacionales que pertenecen al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE), que equivalen al 3% de la superficie total de la cuenca (CONAF, 2015). Además, el Ministerio de Medio Ambiente ha definido sitios de Estrategia Regional de Biodiversidad y sitios Prioritarios de Conservación de la Biodiversidad, los cuales están consideradas centros de riqueza de flora y fauna para la Región. Dichos sitios tienen un alcance territorial importante en la CRR. Las comunas identificadas con mayor vulnerabilidad (Muy Alto) ambiental son Machalí, San Fernando y Rancagua, las cuales están ubicadas en la parte alta de la CRR que podrían poner en riesgo la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos aguas abajo (Fundación Chile, 2015).

2.6 Gestión del agua y desafíos

Si bien hasta hace poco la Región no había experimentado mayores problemas de abastecimiento de agua e históricamente la relación extracción/disponibilidad de agua ha sido favorable (Donoso et al., 2012), desde hace unos años esta situación está cambiando. Actualmente la Región está experimentando cada vez más el problema de la escasez de agua debido a la creciente demanda, la contaminación del agua, la extracción excesiva de agua subterránea y la asignación desequilibrada de los recursos hídricos. En efecto, el aumento en la demanda de agua debido al crecimiento de las actividades económicas, la mega sequía que ha afectado a la zona central de Chile durante la última década (Garreaud et al., 2019), las expectativas de eventos extremos más frecuentes y severos (por ejemplo, inundaciones) (Mora-Melià et al., 2018), los usos competitivos del agua, y la interdependencia entre múltiples sectores (por ejemplo, el Nexo Agua-Energía-Alimentos), están desafiando la manera en que tradicionalmente se han gestionado los recursos hídricos en la región.

Desde hace casi una década que el aumento de la demanda se hace notar por parte de todos los sectores consumidores de agua: agricultura, minería, energía, ciudadanos, turismo, etc. Como expresa Jiménez (2012), la “creciente demanda de los recursos hídricos en los diferentes sectores económicos, sociales y ambientales ha generado una presión sobre éstos que se manifiesta en una agudización de los conflictos entre usos y usuarios”. Por su parte, la mega sequía de la última década se ha reflejado en un fuerte descenso en la disponibilidad de aguas superficiales, en gran parte atribuido a la disminución de la precipitación y el

correspondiente declive de los caudales de los ríos. Así, durante la temporada 2011-2012 en 22 comunas de la Región se declaró un estado de Emergencia Agrícola debido al severo déficit hídrico enfrentado (Callejas et al., 2014).

El 2019 fue el año más seco y con menores precipitaciones desde que se tiene registro en la Región, con una disminución de entre 67% y 79% (estaciones Convento Viejo y Rancagua) en comparación con los niveles históricos promedio del periodo 1981-2010. A su vez, los caudales en los principales ríos de la Región (Río Cachapoal en Puente Termas y Río Tinguiririca en Los Briones) indican una disminución en comparación con los niveles históricos del 64% y 59%, respectivamente (DGA, 2020). Así, en agosto de 2019, la Región y sus 33 comunas fueron decretadas en estado de Emergencia Agrícola y en octubre del mismo año se decretó como Zona de Escasez Hídrica por 6 meses, permitiendo una serie de excepciones⁴. Por su parte, hasta la fecha la DGA ha declarado 30 áreas de restricción de las aguas subterráneas dentro de la Región, lo que significa que existe un alto riesgo de descenso en los niveles de agua poniendo en peligro la sustentabilidad de los acuíferos regionales (DGA, 2019).

Es probable que debido al cambio climático la disponibilidad de agua se vea mermada notoriamente durante las próximas décadas y el resto de este siglo en la zona central del Chile y en la Región. En efecto, desde hace un tiempo las proyecciones de cambio climático en Chile indican una tendencia al calentamiento a lo largo del país junto con signos de reducción de la precipitación y escorrentía para la mayor parte de las regiones centro-norte y centro-sur para el final del siglo XXI. Con respecto a las temperaturas, los pronósticos para Chile central (entre Atacama y Chiloé) indican una tendencia al aumento entre 2 a 3,5 °C en las próximas décadas, lo cual se traducirá en aumentos de la evapotranspiración de los cultivos en esta zona (FCCyT, 2012).

Los pronósticos para los próximos años son similares, indicando una mayor probabilidad de sequías de larga duración (mayor a 5 años) y un incremento en el estrés hídrico principalmente sobre la zona central del país (Vásquez R., 2019). De manera similar, Boszkurt et al. (2017) proyectan que las cuencas de Chile central (Rapel, Maule, Mataquito y Biobío) serán más cálidas y secas. Más específicamente, para la CRR estos autores pronostican que mientras la precipitación disminuirá 7,9% entre 2010 y 2039 con respecto al período 1976-2005, la escorrentía disminuirá 10,3% para el mismo período. Estos cambios se ven incrementados significativamente para los períodos 2040-2069 y 2070-2099 (hasta un 30,4% disminución en precipitación y 40,2% disminución en escorrentía). En paralelo a la disminución de las precipitaciones en la zona central de Chile, también se espera que aumente la intensidad de las lluvias. En otras palabras, se espera que la pluviosidad anual se concentre en menos eventos, pero de mayor intensidad, especialmente durante los meses de invierno (MMA, 2015).

En línea con este pronóstico, el Instituto Mundial de Recursos (WRI) identificó a Chile como uno de los países más sensibles al estrés hídrico en el mundo para el 2040, posicionándolo en el número 24 de 167 países, a escala global (World Resources Institute, 2015). Existen múltiples razones que explican el nivel de estrés hídrico en Chile: el aumento de la demanda de agua, la disminución de la oferta de agua, una excesiva extracción de agua subterránea, la contaminación de fuentes superficiales y subterráneas, uso ineficiente del agua, entre otras. La compleja interconexión de estos factores se traduce en un desafío de alta complejidad. Un valor de estrés hídrico extremadamente alto significa que las principales actividades socioeconómicas en Chile poseen una alta dependencia sobre volúmenes limitados de agua y, por lo tanto, dichas actividades son altamente vulnerables a cambios marginales en la oferta de agua, amenazando la seguridad hídrica y el crecimiento socioeconómico del país. Bajo condiciones menos desfavorables, un estudio de CEPAL estimó

⁴ Tal como la extracción de agua sin necesidad de contar con los derechos correspondientes, la entrega de recursos de emergencias para los habitantes de zonas rurales como el abastecimiento con camiones aljibes, entre otras medidas dirigidas a los distintas actividades y sectores.

que las pérdidas ambientales, sociales y económicas alcanzarán el 1,1% del PIB anual al año 2100 (CEPAL, 2012).

En vista de este escenario, la Región enfrenta un desafío importante en materia de gestión de recursos hídricos, especialmente si se quiere consolidar como una potencia agroalimentaria. Esto cobra mayor relevancia si se considera que la Región deberá compatibilizar su vocación de potencia agroalimentaria en un territorio que también albergará el crecimiento de diversos sectores intensivos en el consumo de agua, como la gran minería, la hidroelectricidad, la industria y el turismo. Es más, es probable que de manera creciente se sumen a estos requerimientos de agua los de una ciudadanía mucho más consciente ambientalmente, la que exigirá que los recursos hídricos de la Región no sólo sirvan fines productivos, sino que también ecológicos. Para esto es necesario transformar los actuales patrones de gestión del recurso hídrico incorporando de manera creciente los avances del conocimiento científico, la innovación tecnológica y las prácticas basadas en una gobernanza colaborativa de los recursos hídricos.

En la actualidad no existe una entidad legal responsable de la acción coordinada entre las partes interesadas o encargada de promover los intereses comunes en la cuenca. En los últimos años, diversos investigadores han solicitado la creación e implementación de "Autoridades de Cuenca" como formas administrativas para enfrentar los desafíos relacionados con el agua (Fuster et al., 2009). Para resolver los desafíos actuales relacionados con la gestión del agua en la CRR, se considera necesario la implementación de un enfoque integrado de gestión hídrica. También parece razonable asumir que las condiciones adecuadas y necesarias para implementar dicho enfoque integrado (por ejemplo, GIRH) requieren de recursos financieros, voluntad y tiempo para ser llevadas a cabo. En consecuencia, la colaboración efectiva entre los actores clave de la cuenca parece ser una condición indispensable para respaldar cualquier esfuerzo significativo para implementar una GIRH en la cuenca, y para abordar los desafíos actuales y futuros relacionados con el agua.

Sección II Metodología

3 Metodología

En esta sección se describen los fundamentos, procesos e interrelaciones entre los siguientes elementos metodológicos del proyecto: i) marco conceptual del proyecto; ii) análisis de actores; iii) visión compartida; iv) herramientas de gestión de recursos hídricos; v) gobernanza de recursos hídricos; y vi) desarrollo de la herramienta SimRapel. A su vez, se describen algunos de los resultados intermedios del proceso que permitieron el desarrollo de los resultados-productos finales que se describen en la siguiente sección.

3.1 Marco conceptual del Proyecto

El marco conceptual del proyecto está basado en los elementos principales de una gobernanza colaborativa⁵ de acuerdo con Ansell y Gash (2008), lo cual distingue el proceso colaborativo de las condiciones externas que influyen en el éxito (o fracaso) de la gobernanza colaborativa. Las condiciones externas que son un insumo al proceso colaborativo son: i) condiciones iniciales (desequilibrios de poder / recursos, incentivos para participar e historial de cooperación entre las partes interesadas); ii) liderazgo facilitador (promueve una dirección clara del proceso); y iii) diseño institucional (la definición de protocolos y reglas básicas para la colaboración entre las partes interesadas). La Figura 3 destaca los aspectos claves abordados en este proyecto (cajas en verde de la figura a continuación) para facilitar una gobernanza colaborativa en la CRR y así avanzar en el logro de la visión compartida de la cuenca a 2050.

⁵ La *gobernanza colaborativa* está definida como “un proceso formal de toma de decisiones deliberativa entre los actores clave del sector público y privado, orientado al consenso” (Ansell y Gash, 2008).

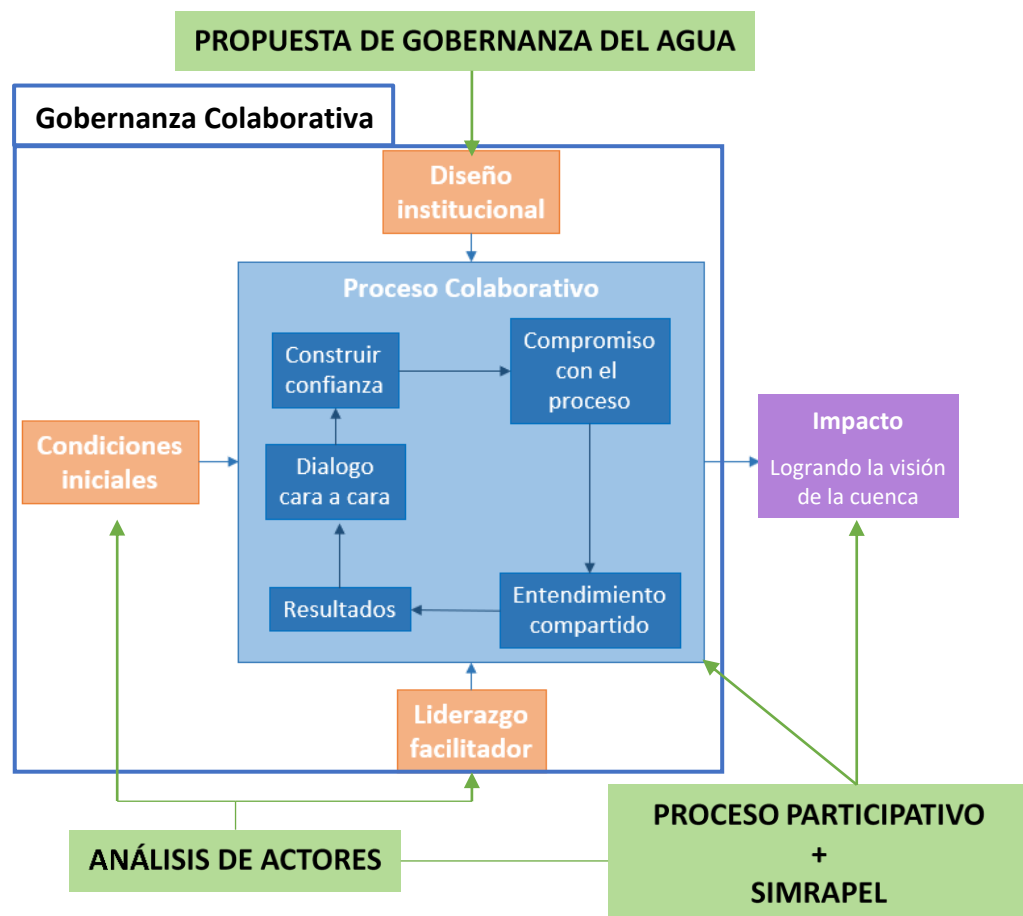


Figura 3. Marco conceptual del Proyecto.

Las condiciones externas de la gobernanza colaborativa fueron abordadas a través de un análisis de los actores clave en la gestión de los recursos hídricos de la CRR y la generación colaborativa de una propuesta de gobernanza para la CRR. El proceso participativo continuo en el proyecto permitió la generación de una visión compartida para la CRR y el desarrollo de una herramienta de modelación hídrica (SimRapel) que promueve la gobernanza colaborativa de la CRR. SimRapel utiliza una metodología de “modelación participativa” en el “proceso de desarrollo de la herramienta”, es por esto por lo que su proceso permite aportar al fortalecimiento del proceso colaborativo como lo evidencian resultados de la implementación de herramientas similares como SimCopiapó desarrollado por CSIRO y que se describe en esta sección en mayor detalle. El proceso de elaboración de SimRapel fue clave para entregar dirección al proyecto, recopilar información y conocimiento, construir confianza entre actores, y facilitar compromiso con el proyecto (cajas celeste y azul de la figura anterior).

El trabajo que se describe en esta sección implica la interacción permanente entre actividades asociadas para el fortalecimiento de la gobernanza de los actores y el desarrollo de herramientas para una mejor toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos en la CRR. Para maximizar el impacto de las herramientas para la gestión del agua, se requiere de una gobernanza de actores robusta, y a su vez, una gobernanza robusta requiere de herramientas para una toma de decisiones efectiva. Una vez establecida una gobernanza colaborativa del agua en la CRR, es probable que la implementación de las herramientas de gestión de recursos hídricos definidas tendrá mayor éxito, contando con una institucionalidad que pueda operar y mantener las herramientas en el tiempo.

3.2 Análisis de actores y proceso participativo

3.2.1 Identificación de actores y proceso participativo

La implementación de un proceso participativo continuo con los actores clave de la CRR es un componente fundamental para el desarrollo del proyecto y necesario para guiar la dirección y su ejecución, de modo que tenga validez y legitimidad social. En otras palabras, la participación de los actores asegura que los alcances del proyecto respondan a las necesidades de la cuenca y sus usuarios, y promueve que los resultados generados del proyecto sean sustentables en el futuro, una vez que el proyecto ha terminado. La participación de los actores en este proyecto resuena con las varias definiciones del enfoque ampliamente adoptado correspondiendo a la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)⁶. En términos generales, se puede entender la GIRH como un enfoque abierto e inclusivo que fortalece las relaciones y confianza entre los actores clave, a su vez, incorporando diversas perspectivas de distintas escalas.

Inicialmente, en conjunto con representantes de la Federación de Juntas de Vigilancia de la Sexta Región (FJVSR) y la Dirección General de Aguas (DGA) Regional, se identificó un rango de actores relacionados con la gestión de los recursos hídricos en la CRR. Los actores fueron categorizados en tres grupos generales: i) el sector público; ii) la sociedad civil y academia; y iii) el sector privado (ver Sección 2.4). Esta lista fue modificada aún más mediante recomendaciones en reuniones y entrevistas iniciales del proyecto. Las inquietudes relacionadas con la gestión de los recursos hídricos requieren de una discusión amplia de los actores relevantes y de una mirada de largo plazo. Por esta razón el proyecto consideró una gobernanza basada en el enfoque de círculos de influencia (Cardwell et al., 2009; Basco-Carrera et al., 2018), que permitió involucrar a un gran número de partes interesadas y garantizar una participación eficiente, efectivo e inclusivo.

La Figura 4 y Tabla 1 muestran la estructura del proceso participativo que se implementó en la CRR y consistió en tres capas de participación: i) un círculo interno (A) que corresponde al equipo de investigación y representantes clave de la DGA Regional y la FJVSR. El rol de este grupo era implementar los aspectos técnicos del proceso participativo, así como desarrollar actividades de investigación e informar los resultados de este proceso; ii) un segundo círculo interno (B), denominado el Grupo Asesor (GA), fue compuesto inicialmente de 12 instituciones representantes clave de la CRR que aumentó a 16 durante la ejecución del proyecto, según la solicitud de los mismos participantes. Este grupo consistió en seis instituciones del sector público, siete del sector privado, y tres de la sociedad civil y academia. A diferencia de las iniciativas típicas de gestión del agua en Chile, los actores clave que no poseen derechos de aprovechamiento de agua (DAA) (por ejemplo, turismo, academia, sociedad civil) se incorporaron a este nivel de participación. El rol principal de este grupo era apoyar el proceso de toma de decisiones, dirigir debates y sesiones participativas hacia intereses y desafíos amplios, validar los resultados para la discusión con el círculo externo (C), y proporcionar información y retroalimentación sobre temas críticos de la investigación a través de reuniones y talleres regulares; y iii) un círculo externo (C) que consistió en alrededor de 127 actores clave relacionados con la gestión de los recursos hídricos de la CRR (84 entidades provenientes del sector privado, 22 del sector público y 21 sociedad civil/academia). El rol de este grupo era proporcionar información relevante y conocimiento local a través de la asistencia a talleres participativos extendidos. También brindó una buena oportunidad para compartir los resultados de la investigación con un grupo más amplio de actores dentro de la sociedad.

⁶ El Comité Técnico de la Asociación Mundial para el Agua (GWP, por sus siglas en inglés) define la GIRH como un “proceso que promueve la gestión 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, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas.” (GWP, 2000).

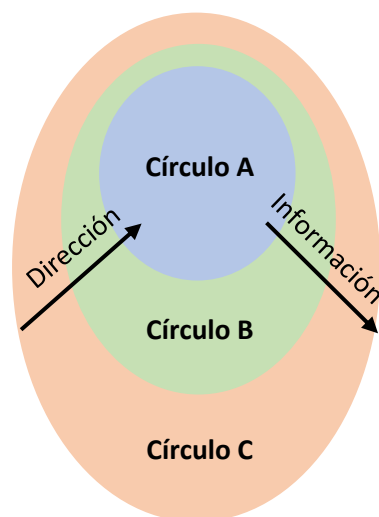


Figura 4. Estructura del proceso participativo.

Tabla 1. Estructura del proceso participativo.

Círculo	Actores	Sector general	Sector específico
A	1. Equipo de proyecto CSIRO 2. DGA Regional 3. FJVSR	Sociedad Civil-Académico Público Privado	
B	1. DGA Regional 2. DOH Regional 3. SEREMI MA 4. Unidad de Ordenamiento Territorial 5. MUROH 6. SEREMI Agricultura	Público	Autoridad de aguas Obras Hidráulicas Autoridad de medio ambiente Gobierno Regional Municipalidades Autoridad de agricultura
	7. ESSBIO 8. CODELCO 9. Pacific Hydro 10. ENEL 11. Agrosuper 12. FJVSR 13. Federación Agricultores Cachapoal 14. AGRESAP 15. CODEPRA 16. Universidad de O'Higgins	Privado Sociedad Civil- Académico	Sector sanitario Sector minero Sector eléctrico, aguas arriba Sector eléctrico, aguas abajo Agroindustria Usuarios de aguas Sector agrícola Agua Potable Rural Ambiental-turismo Investigación regional
C	120 actores clave de los sectores: público, privado y sociedad civil-académico		

Se realizó siete talleres participativos (que convocó los actores de todos los círculos) y 16 reuniones de trabajo (compuesto de círculos A y B) en un período de 42 meses. En el Anexo B.1 de este informe se presenta las funciones y reglas del funcionamiento del GA.

3.2.2 Análisis de actores

Para lograr el objetivo de entender las condiciones iniciales de la gobernanza colaborativa en la CRR se utilizaron dos métodos para analizar los principales actores de la CRR. El primer método aplicado, denominado **análisis de las partes interesadas o Stakeholder Analysis** en inglés, es un enfoque cualitativo que busca comprender la posición relativa y la relevancia de los actores clave. El segundo método aplicado para el análisis de actores es el de **análisis de redes sociales o social network analysis (SNA)** el cual tiene un enfoque cuantitativo que en términos generales permite evaluar las relaciones entre los actores, así como las relaciones entre los actores y la visión.

Análisis de partes interesadas

El análisis de actores o partes interesadas es una forma sistemática, usualmente utilizada en la gestión de recursos naturales, para identificar y entender a los participantes de cualquier iniciativa. Así, las partes interesadas o actores pueden ser definidas como cualquier tipo de entidad, individual o grupal que: (1) es afectada o puede afectar una iniciativa, y (2) pueda tener algún grado de influencia en la gestión de dicha iniciativa (Oliver, s.f.). En ese contexto, identificar a los actores participantes es esencial. Si no se conocen los roles de los actores, sus incentivos ni como se relacionan entre sí; los resultados de cualquier iniciativa parecerán más una improvisación que el resultado de una buena gestión.

En general, la identificación de los actores se realiza con los siguientes objetivos (OECD, 2015): Primero, para entender la relación en el ciclo del agua (por ejemplo: calidad, cantidad, drenaje, consumo de agua potable, descargas de aguas servidas, entre otros) y las potenciales conexiones con otros sectores (por ejemplo: agricultura, minería, energía, planificación territorial, etc.). Como resultado, se espera identificar una serie de actores, que con distinto grado de formalidad, interés, poder, etc., influirán en el proyecto. En segundo lugar, se espera poder evaluar el potencial de los actores para contribuir o dificultar los procesos de toma de decisiones de la iniciativa.

En otras palabras, el análisis de las partes interesadas (o actores) es una herramienta comúnmente aplicada para apoyar el proceso de toma de decisiones en la gestión de recursos naturales (Mayers, 2005) que, a través de una mejor planificación, optimiza los resultados de cualquier iniciativa.

El análisis de los actores consta usualmente de 5 pasos (Oliver, s.f.): (1) Identificar a los actores relacionados con la iniciativa; (2) Entender las motivaciones de esos actores respecto a la iniciativa; (3) Determinar el grado de importancia de los actores para el funcionamiento de la iniciativa; (4) Entender las redes y relaciones entre los actores; (5) Desarrollar un plan de participación.

El análisis de las partes interesadas aplicado a la CRR permitió entender el posicionamiento de los actores en términos de poder e interés en la implementación de la gestión de los recursos hídricos. Se generó un mapa bidimensional de influencia e interés que posicionó los actores miembros del Grupo Asesor (GA) (círculo B - Figura 4) con respecto a la gestión de los recursos hídricos en la CRR. Ambas dimensiones (influencia e interés) ayudaron a posicionar a los actores clave en cuatro cuadrantes que reflejan las combinaciones potenciales de baja o alta influencia y bajo o alto interés. Los actores clave revisaron y validaron una iteración inicial de este mapeo durante una reunión de trabajo. Es importante tener en cuenta que la posición absoluta de los actores clave en el mapa de influencia-interés es secundaria, más importante es la posición relativa de los actores entre sí, así como su ubicación en uno de los cuatro cuadrantes.

Análisis de redes sociales (SNA)

SNA proporcionó métricas cuantitativas a nivel de red y de partes interesadas que describen las relaciones y funciones de las partes interesadas en las redes.

El análisis de redes sociales por su parte permite la identificación y cuantificación de las relaciones de los principales actores en materias relevantes a la gestión de recursos hídricos en la CRR en tres aspectos principales: i) flujo de información; ii) redes de colaboración; y iii) flujos de dinero/fondos entre instituciones, los cuales son relevantes para la implementación de una gobernanza colaborativa del agua. Estas redes se vincularon a las condiciones de partida (asimetrías de conocimiento, incentivos para la participación e historia de colaboración) y liderazgo facilitador mostrado en el marco conceptual (Figura 3).

Este análisis se aplicó al GA (Círculo B - Figura 4) y se basó en la información proporcionada por los propios actores, la cual posee un nivel de subjetividad y refleja las condiciones actuales de las relaciones existentes, las cuales pueden variar en el futuro o en un contexto diferente. Se implementó un ejercicio de mapeo de redes con cada miembro del GA para determinar las interacciones (dirección y frecuencia) con los otros 15 miembros del GA para cada uno de los aspectos analizados. A los participantes se les dio la oportunidad de identificar a otras partes interesadas con las que interactúan pero que no son miembros del GA. Para un vínculo claro con las condiciones iniciales del marco teórico (Figura 2), se les preguntó a las partes interesadas sobre los flujos de información (por ejemplo, asimetrías de conocimiento, acceder y compartir datos públicos / privados, acceder a informes especializados, etc.), vínculos de colaboración (por ejemplo, historial de colaboración informal y formal, acuerdos, invitación / participación en reuniones / proyectos, etc.) e intercambio de recursos financieros (por ejemplo, incentivos a la participación, donaciones, pago de permisos, subsidios, etc.). La dirección determinaba la orientación de la interacción, que era multidireccional o unidireccional, o como donante o receptor en el caso de recursos financieros. La frecuencia refleja las interacciones de las partes interesadas en dos niveles: alta frecuencia (menos de seis meses) o baja frecuencia (más de seis meses). Cuando las partes interesadas recíprocas informaron diferencias entre la percepción individual de las frecuencias, se empleó la frecuencia más baja.

El análisis de redes sociales ha permitido responder a cuatro preguntas principales:

1. ¿Es el actor activo en las redes de colaboración, información y flujo de dinero?, es decir, nivel de conectividad de los actores mediante el número de conexiones actuales;
2. ¿Es el actor capaz de contactar a otros actores a través de las conexiones disponibles en las redes de colaboración, información y flujo de dinero? (conexiones directas), es decir, cercanía (o lejanía) en términos del número de conexiones directas de los actores con otros miembros de la red;
3. ¿Posee el actor la capacidad de controlar el flujo de recursos o información dentro de las redes analizadas?; es decir, rol que posee el actor como ente controlador y distribuidor de recursos o información;
4. ¿Posee el actor conexiones con otros actores relevantes dentro de las redes de colaboración, información y flujo de dinero?, es decir, calidad de las conexiones del actor en términos de la relevancia de los actores a los cuales está conectado;

Estas preguntas se responden mediante la cuantificación de cuatro métricas

Se utilizó el software UCINET para realizar el análisis y responder a estas preguntas, calculando las siguientes métricas para cada aspecto analizado (información, colaboración y dinero):

1. Centralidad de grado: número de conexiones (entrada y salida) que un actor posee en la red. Mayor centralidad de grado implica un mayor número de conexiones y por lo tanto una mayor conectividad dentro de la red correspondiente;
2. Centralidad de cercanía: para cada actor se calcula la distancia más corta entre éste y los demás actores. Mayor centralidad de cercanía implica un actor más cercano a otros actores y una mayor capacidad para acceder a otros actores mediante la red;
3. Centralidad de intermediación: porcentaje de las rutas más cortas entre actores pasando por un actor particular. Mayor centralidad de intermediación implica una mayor importancia en el control

del flujo material; es decir, el actor es clave en la distribución del flujo material (colaboración, información, y/o dinero)

4. Centralidad de valor propio: ponderación del número de conexiones por la relevancia de los actores que éstas conectan. Los actores conectados a otros actores más influyentes (i.e. mejor conectados) tienen una mayor centralidad de valor propio. Actores periféricos, por lo tanto, poseen una menor centralidad de valor propio.

3.3 Visión compartida

El proceso de generación de la visión⁷ es un componente clave para desarrollar un plan de gestión integrada de los recursos hídricos para la CRR. Así, es importante tener una visión clara del estado futuro deseable de la cuenca, lo cual permite una idea del propósito, prioridades y conceptualización de los objetivos de un plan de cuenca. La visión debe reflejar y abordar las principales preocupaciones y aspiraciones acerca de la cuenca en un tiempo de mediano a largo plazo que también tenga en cuenta las inquietudes más amplias de los aspectos sociales, económicos y ambientales relevantes de CRR. La visión de una cuenca tiende a ser desarrollada alrededor de una o más de las siguientes prioridades: protección del estado ambiental de los recursos hídricos, desarrollo social y económico relacionado al uso de los recursos hídricos, riesgo de desastres naturales e impactos sobre la sociedad y ecosistemas, y los aspectos institucionales para mejorar la cooperación y la colaboración (Pegram, et al., 2013).

A su vez, la definición de la visión futura en este proyecto permitió definir con mayor precisión las herramientas de gestión informáticas que se necesitan para hacer una mejor gestión de los recursos hídricos de la CRR. En otras palabras, las herramientas de gestión informáticas que se definan en este proyecto deben ayudar a alcanzar la visión que se defina. Es esencial que el proceso de desarrollo de la visión involucre la participación de los actores clave de la cuenca. Esto permite no sólo incorporar sus expectativas del futuro de la cuenca, sino que también generar y capitalizar los compromisos necesarios para lograr una visión que sea lo más equitativa posible.

El método utilizado para la generación de la visión para los recursos hídricos de la CRR consideró 4 actividades principales. En primer lugar, se levantó los desafíos, necesidades y oportunidades para la gestión de recursos hídricos en la CRR, desde la perspectiva de los actores clave de la cuenca. En segundo lugar, se levantó elementos iniciales de la visión desde los actores, los cuales fueron agrupados para conceptualizar una visión preliminar. Luego, se trabajó en el refinamiento y validación de la visión final con el GA y en un taller de trabajo con los actores clave del proyecto. Finalmente, una vez validada la visión de la cuenca, se realizó un análisis para entender el nivel de influencia de los actores principales en el logro de la visión.

3.3.1 Desafíos, necesidades y oportunidades

La primera actividad relacionada con la definición de la visión se realizó en el primer taller participativo amplio del proyecto para levantar desafíos, necesidades y oportunidades asociados a la gestión del agua en la cuenca. Este levantamiento fue clave para dar contexto a la situación actual de la cuenca bajo la perspectiva de los actores. También fue un insumo importante en la definición de las herramientas de gestión hídrica requeridas para la CRR. El análisis mostró que, de acuerdo con los usuarios o actores de la CRR, hay una gran variedad de problemas que se enfrentan. Conforme a los resultados de fichas rellenas por los

⁷ Se entiende por visión “un estado futuro para la cuenca que se define como más deseable que el estado actual”. La identificación de una visión para la cuenca permite direccionar los esfuerzos, y definir las prioridades y objetivos de la gestión de los recursos hídricos en la cuenca.

asistentes, los principales problemas enfrentados por una buena parte de los actores claves están relacionados con los siguientes temas:

- La fiscalización del uso/consumo de los recursos hídricos en la cuenca es escasa. Más específicamente, el desorden con relación a la gestión y utilización de los derechos de aprovechamiento de agua (DAAs) está aumentando.
- Es creciente la impresión de que, aunque la disponibilidad de agua ha sido suficiente hasta ahora, el futuro es incierto.
- Existe una falta de transferencia de tecnología y medición del recurso hídrico en la cuenca. Es necesario mejorar y actualizar la red de medición existente para permitir una mejor toma de decisiones y planificación del recurso, especialmente con relación a la cuantificación de la disponibilidad del agua.
- Falta de (o inadecuada) infraestructura de captación, conducción, distribución y almacenamiento de recursos hídricos en la cuenca, y falta de financiamiento para su desarrollo.
- La planificación que existe para los recursos hídricos en la cuenca es muy débil. No existe una planificación a largo plazo y falta la consideración del cambio climático.
- Existe una falta de comunicación/coordinación entre los actores importantes en la cuenca, especialmente entre los usuarios y los organismos del Estado, y entre el sector público y el sector privado. Debido a esto, existe insuficiente conocimiento con relación a los roles y responsabilidades de los organismos públicos. La falta de integración y cooperación de los actores de la cuenca significa que la gestión de los recursos hídricos está muy fragmentada.
- No hay políticas públicas claras y robustas para los recursos hídricos de la cuenca. Además, falta la incorporación del costo o valor real de consumir el agua, lo que significa que su uso es descuidado.
- La información existente relacionada con los recursos hídricos en la cuenca está muy dispersa, lo que dificulta su acceso, y gran parte no es útil para los usuarios.
- La capacitación y conocimiento de los actores y usuarios de la cuenca es en general es débil, posiblemente debido a la falta de información o datos. También es necesario un cambio de la cultura de agua, empezando en el nivel escolar con programas de formación de conocimiento sobre los recursos hídricos.

Aunque el medio ambiente fue mencionado en las fichas, apareció muy poco en comparación a los otros temas recopilados. Existen potencialmente dos razones para la falta de su mención: a) falta de conocimiento sobre los problemas que existen en la cuenca; o b) falta de preocupación ambiental. Es probable que existe una combinación de estas razones. Típicamente en Chile y en otros países alrededor del mundo el medio ambiente es un motivo de preocupación marginal en comparación a la demanda y la oferta de agua para satisfacer los distintos usos de las cuencas. Esto lleva a que exista una falta de información y conocimiento sobre el tema.

De manera similar al medio ambiente, las ideas de que la cuenca es un medio para el desarrollo socioeconómico y la gestión de riesgos (eventos extremos) aparecieron muy poco en las fichas. Como fue mencionado, tradicionalmente la preocupación de recursos hídricos está relacionada a que la oferta de agua sea suficiente para cubrir la demanda.

A pesar de que parecen existir numerosos problemas en la CRR, existen varias oportunidades o sugerencias mencionadas para enfrentar dichos problemas. Las principales oportunidades que aparecieron en las fichas dentro del alcance de este proyecto pueden ser resumidas de la siguiente manera:

- Hacer talleres y crear instancias de diálogo entre los actores;

- Unificar la información que está disponible;
- Aprovechar la organización y conocimiento de las OUAs existentes;
- Introducir gestión de la cuenca con una visión a largo plazo; y
- Fomentar un organismo de cuenca.

Además, aparecieron varias oportunidades fuera del alcance de este proyecto pero que son temas muy interesantes para la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH):

- Promover el mercado del agua;
- Mejorar la medición y cuantificación de la disponibilidad de recursos hídricos (por ejemplo; conocer los sistemas acuíferos, glaciares y rutas de nieve);
- Desarrollar sistemas de predicción de caudales (registro de caudales futuros);
- Introducir el concepto de valor del agua (ponerle precio al uso del agua); y
- Implementar programas educativos sobre los recursos hídricos.

3.3.2 Elementos de la visión y su validación

La primera instancia de intercambio de ideas para generar una visión de la CRR también tuvo lugar durante el primer taller del proyecto; esto ocurrió por medio de una actividad individual, otra grupal y un plenario. Durante el trabajo individual cada participante hizo una descripción del estado deseado de la cuenca para el año 2050, las que fueron analizadas y discutidas durante el trabajo grupal. A continuación, durante el plenario cada grupo tuvo la oportunidad de presentar los elementos de una visión preliminar de la cuenca en base de la discusión anterior. Estos elementos se presentan en la Tabla 2 y se agruparon en cuatro dimensiones: i) oferta y demanda de agua; ii) instituciones y capacidades; iii) medio ambiente; y iv) economía y sociedad. A su vez, para cada una de estas dimensiones (con la excepción de medio ambiente) se definió sub-categorías donde se alojaron los elementos preliminares identificados por los actores clave.

Tabla 2. Elementos de una visión para la cuenca del Río Rapel mencionados durante el primer taller.

Tópico	Elemento
Oferta y Demanda de Agua	Riego: <ul style="list-style-type: none"> • Gran parte del sistema de riego tradicional se ha convertido a uno altamente tecnificado. • Se ha logrado la implementación de cultivos de alta rentabilidad en gran parte, sino toda, del área bajo riego con alta seguridad de riego. • Se ha mejorado la efectividad del riego. • Se han sumado nuevos territorios bajo riego.
	Turismo y esparcimiento: <ul style="list-style-type: none"> • Se puede hacer pesca deportiva en los cauces de los ríos. • Se puede pasar un día en familia a orillas de los ríos. • Los ríos son un lugar para el esparcimiento. • Las aguas de la cuenca se pueden usar de manera deportiva. • Se puede navegar en el río Cachapoal en un tramo de aguas.
	Infraestructura: <ul style="list-style-type: none"> • Existen obras de acumulación de aguas. • Existen obras de saneamiento aguas. • Existe un plan de mejoras de embalses existentes y construcción de nuevos. • Existe un plan de mejoras de obras de conducción existentes y construcción de nuevas.

Tópico	Elemento
	<p>Gestión:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El agua es usada de manera eficiente y transparente. • La gestión del agua es preventiva, lo que permite garantizar su consumo a todos los que cuentan con derechos de aprovechamiento. • Los recursos subterráneos son conocidos, utilizados y recargados dentro de un marco de gestión sustentable. • Existe una gestión integral de los recursos hídricos. • Los controles sobre el uso del agua han sido mejorados significativamente.
Instituciones y Capacidades	<p>Institucionalidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La gestión del agua en la cuenca se hace con un alto grado de coordinación, organización, profesionalismo y transparencia. • Existe un alto grado de asociatividad⁸ de usuarios del recurso y entre éstos y el sector público. • La administración, regulación y gestión de recursos hídricos se encuentra integrada (DGA, DOH, Municipio, CNR, Intendente, MINAGRI) • Existe un mercado del agua fluido: arriendo de recursos al estado y privados; agua libre para cambiar de dueño. • Existen incentivos para: la generación eléctrica en riego; la inversión en tecnologías prediales; la eficiencia del riego y conducción. • Existe certeza de la legislación del agua. • Todos los usuarios son conscientes de sus derechos y deberes con respecto al agua. <p>Información y Conocimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Existe información clara del agua sobre cantidad, calidad y certeza. • La información del agua puede ser usada de manera expedita para fines de gestión. • Existe una plataforma de gestión del agua de la cuenca (SIG, etc.) • Existe una red de estaciones meteorológicas. • Existe una red de monitoreo del recurso. • Existen aplicaciones computacionales que permiten una adecuada distribución y transacción entre usuarios. • Hay conocimiento acabado del recurso aguas subterráneas.
Medio Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Las cuencas están permanentemente siendo reforestadas. • El agua se conserva: reciclar el agua es moda; se reutiliza el recurso. • La calidad del agua es alta: existe agua limpia; existe un plan de descontaminación de aguas; tenemos mejores estándares de calidad del agua que en el pasado. • Los residuos son gestionados de manera sustentable: todo se recicla; hay un manejo eficiente de escombros y basura; se recicla el plástico, en hilo, telas y ropa. • Existe un plan de implementación de servicios ambientales en pos de la conservación, calidad y cantidad del agua. • Sustentabilidad/Se ha logrado un desarrollo general sustentable en la cuenca.
Economía y Sociedad	<p>Cultura y Educación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Existen programas de educación escolar y de concientización que abordan la temática del agua: elemento vital, usos múltiples, necesidad de planificar, cultura de conservación, limitaciones, etc. • Existe un museo interactivo que educa por medio de juegos el tema hídrico, natural y medioambiental. • Gracias a que hubo una buena planificación, hoy se consiguió a través de campañas educativas a que no haya contaminación. <p>Desarrollo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se genera electricidad en la cuenca, en parte aprovechando los desniveles naturales.

⁸ Se entiende por asociatividad como la facultad para sumar esfuerzos y compartir ideales a través de la asociación de personas para dar respuestas colectivas a determinadas necesidades o problemas.

Tópico	Elemento
	<ul style="list-style-type: none"> • Existe una producción agrícola de alta calidad. • La cuenca ha permitido un desarrollo turístico, domiciliario e industrial • Los recursos hídricos son gestionados con solidaridad y de manera equitativa, lo que ha permitido la generación de bienestar, riqueza y empleo en la cuenca. • Identidad regional • Los recursos hídricos son gestionados en función del rol que la cuenca cumple dentro de la visión de país futura para el desarrollo a nivel nacional. • La cuenca es un ejemplo nacional en el uso de recursos hídricos. • Las generaciones jóvenes reconocen los beneficios asociados al desarrollo del proyecto. • La cuenca es vista como un ejemplo de “Agua transparente”: de calidad y libre para cambiar de dueño.

El análisis mostró que, de acuerdo a los usuarios o actores de la CRR, hay una gran variedad de elementos que deberían formar parte de la visión de la cuenca. Conforme a los resultados de las fichas, los que están reflejados en la Tabla 2, los elementos más mencionados por los actores clave están relacionados con los siguientes temas:

- Tenemos mejores estándares de calidad del agua que en el pasado; hoy la calidad es alta y el agua es limpia.
- Los residuos son gestionados de manera sustentable; hay un manejo eficiente de escombros y basura; se recicla el plástico, en hilo, telas y ropa.
- Aparte de los usos del recurso hídrico con fines de riego e industrial, el agua sirve para fines de turismo y ocio, destacándose la pesca, los paseos familiares en las orillas de los ríos y los deportes náuticos, como la navegación.
- Existe información de calidad, certera y de fácil acceso sobre el agua en la cuenca; la información sobre la cantidad y calidad de los recursos superficiales y subterráneos permite hacer una buena gestión del agua en la cuenca.
- Existen programas de educación escolar y de concientización que abordan la temática del agua, destacando que es un elemento vital, que tiene usos múltiples pero que es escaso, por lo que planificar su uso es una necesidad.
- Gran parte del sistema de riego tradicional se ha convertido a uno altamente tecnificado.
- Existe un alto grado de asociatividad de usuarios del recurso y entre éstos y el sector público.
- La administración, regulación y gestión de recursos hídricos se encuentra integrada (DGA, DOH, Municipio, CNR, Intendente, MINAGRI)
- El agua es usada de manera eficiente y transparente, lo que permite garantizar su consumo a todos los que cuentan con derechos de aprovechamiento.
- Los recursos hídricos son gestionados en función del rol que la cuenca cumple dentro de la visión futura de país para el desarrollo a nivel nacional.

Aunque aspectos relacionados con el medio ambiente fueron mencionados en las fichas, estos se centraron en la calidad del agua y la gestión de residuos, dejando de lado elementos relacionados con la biodiversidad. En otras palabras, las fichas no manifestaron preocupación por la relevancia del agua para las formas de vida no humana. Otro aspecto no mencionado durante el ejercicio de la visión fue el relacionado con la necesidad de hacer una gestión de los riesgos asociados a desastres, tales como sequías, aluviones e inundaciones.

Es importante notar que dentro de los elementos mencionados por los actores clave para elaborar la visión de la cuenca, sólo algunos de ellos podrán ser directamente abordados por los productos de este proyecto.

Este análisis de los elementos preliminares de la visión fue presentado en el segundo taller de trabajo participativo con el fin de profundizar más en el tema. Después de la presentación, los asistentes formaron nueve (9) grupos de trabajo, cada uno representando un sector clave de la cuenca, tal como: Ciudadanos, Biodiversidad, Servicios Públicos (DGA, DOH, MINAGRI, etc.), entre otros. El objetivo de este ejercicio grupal fue proyectar varias visiones de la CRR al 2050 desde la perspectiva del rol asignado, y además incentivar a los asistentes a pensar fuera de su ámbito o accionar normal.

En el ejercicio, cada grupo presentó los elementos de una visión de la cuenca en base al sector que representaban. Los principales puntos tratados por los grupos fueron los siguientes:

1. Ciudadanos y medios de comunicación:
 - deben participar de la gestión de la cuenca.
2. Biodiversidad:
 - mantención, protección de la biodiversidad y consumo humano.
3. SEREMI: MOP, Agricultura u otros:
 - servicios públicos deben integrar la administración y gestión de los recursos hídricos.
4. Fuerzas Armadas y Justicia:
 - potenciar el rol de los tribunales ambientales.
 - contar con una unidad de apoyo específica de Carabineros.
5. SEREMI MA/Salud/Educación (público):
 - impulsar y trabajar para que toda agua sea bebestible.
6. Privados (Juntas de Vigilancia, APR, hidroeléctricos, etc.):
 - derechos de aprovechamiento de aguas (DAAs) de pequeños usuarios deben ser regularizados.
 - claras facultades de uso de los DAAs y su gestión.
 - fuentes de agua y sus usos: dónde se genera el agua, cuántas y cuáles son las fuentes.
 - calidad de las fuentes, calidad de las aguas y gestión de residuos y riles.
 - deberes y derechos de lo público y lo privado.
7. Parlamentarios:
 - que cuenten con buena información.
 - entregarles conocimiento.
 - que puedan cumplir una fiscalización eficiente y efectiva.
8. Corporación administradora Cuenca Rapel:
 - que sea participativa.
 - que aglutine la dispersión de servicios públicos existente.
 - que entregue directrices vinculantes.
9. Universidades y Organismos de Investigación:
 - que generen ciencia y tecnología para la gestión.

Después de este segundo taller, el equipo del proyecto en conjunto con el GA refinó los elementos de la visión y su redacción. Para ayudar en este ejercicio, se generó un *Tree Map* (Figura 5) que es una forma de visualizar las potenciales prioridades de los actores clave a través del mapeo de los puntos más recurrentes planteados durante los talleres participativos. Los temas planteados se agruparon en cinco dimensiones relacionadas con el agua: i) agua e instituciones; ii) disponibilidad de agua; iii) uso del agua; iv) agua y

sociedad; y v) agua y medio ambiente. Varios temas transversales cruzaron más de una categoría. El análisis indica que el tema más recurrente se relaciona con el agua y las instituciones, en particular, la necesidad de un comité unificador a escala de cuenca y la participación de todos los usuarios del agua en el proceso de toma de decisiones.

Finalmente, se generó una figura que resume los 21 elementos finales de la visión y una narrativa de la visión, los cuales fueron validados en las sesiones de trabajo con el GA y durante el tercer taller participativo amplio con actores clave. Estos resultados finales de la visión están presentados en la Sección 4.2.

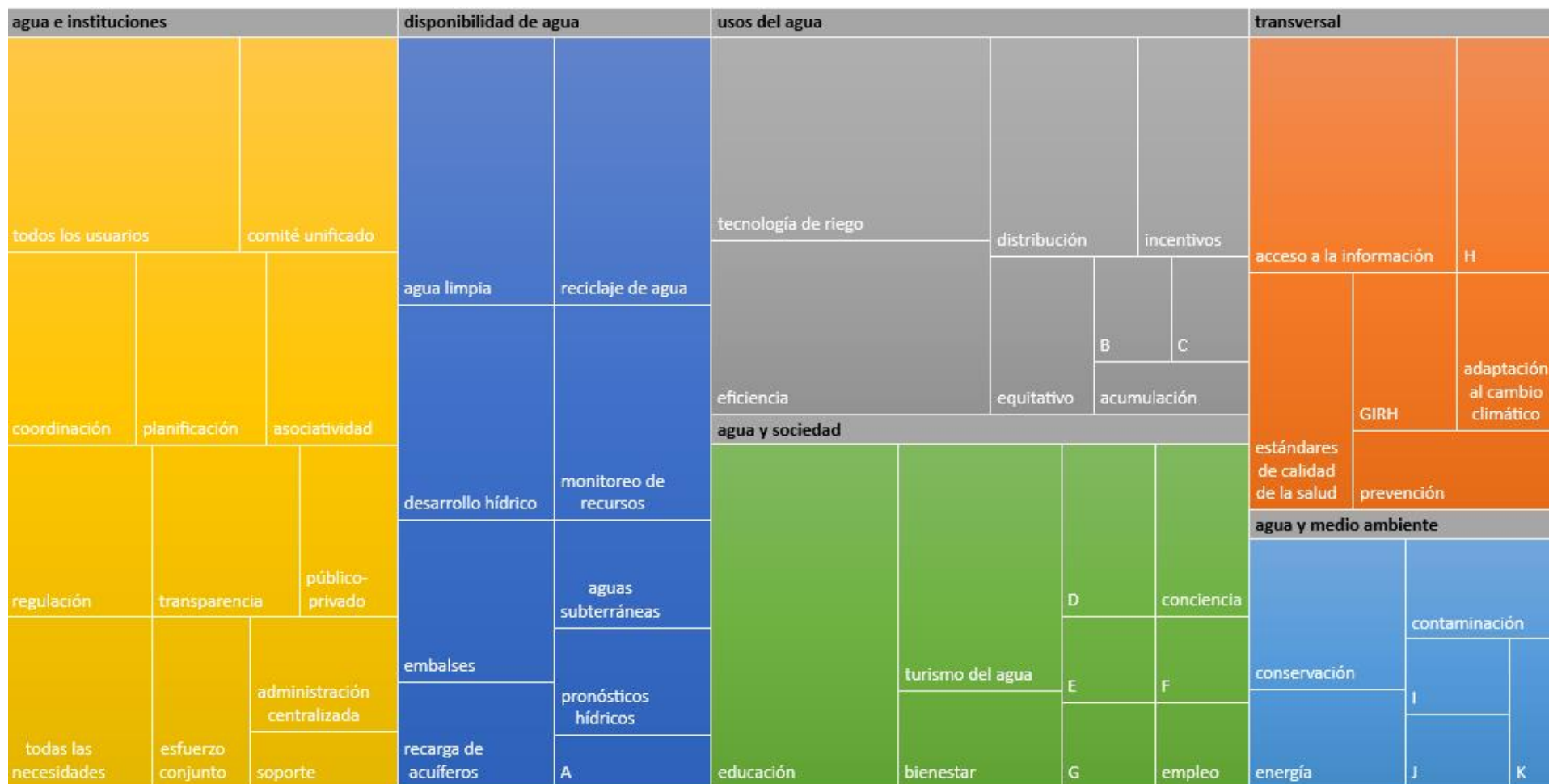


Figura 5. Treemap que identifica los elementos recurrentes levantados por los actores clave para la visión de la CRR.

Nota: A= estaciones meteorológicas; B= uso garantizado; C= reducción de pérdidas; D= conocimiento; E= profesionalismo; F= entrenamiento; G= solidaridad; H= sustentabilidad; I= reforestación; J= manejo de residuos sólidos; K= servicios ambientales.

3.3.3 Influencia de los actores sobre la visión

Por su parte, se aplicó la misma metodología de análisis de redes sociales mencionada en la Sección 3.2.2 para relacionar los actores clave con los 21 elementos de la visión. Dicho análisis reclasifica las relaciones entre actores y elementos de la visión, para la identificación de los actores relevantes con alta influencia en el alcance de los elementos de la visión. Los miembros del GA rellenaron un formulario para clasificar el nivel de influencia (no influencia, baja influencia, o alta influencia) de su institución para lograr cada uno de los 21 elementos de la visión. Los resultados fueron nuevamente codificados en el software UCINET.

3.4 Herramientas de gestión de recursos hídricos

3.4.1 Levantamiento de información

El conocimiento del estado actual de los recursos hídricos en una cuenca es fundamental para una efectiva puesta en marcha de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). Sin información actualizada y relevante acerca de los recursos hídricos existentes en una cuenca es imposible identificar: a) las necesidades reales de los principales usuarios de las aguas en dicha cuenca, b) los desafíos para implementar la GIRH, c) las potenciales herramientas que permitan facilitar la gestión de los recursos hídricos, y d) planificar para su seguridad futura de manera sostenible. A su vez, el conocimiento sobre el estado actual de los recursos hídricos en una cuenca nos permite definir la “línea de base” contra la cual contrastar la “visión” futura de la cuenca.

Por otro lado, si bien es factible que exista información disponible acerca de los recursos hídricos en una cuenca, ésta puede ser recopilada, almacenada, gestionada y desplegada por diversas instituciones utilizando diversos formatos de datos, frecuencias de recolección, derechos de propiedad y accesibilidad, medios de despliegue, entre otros. A su vez, esta información puede presentar diversos estándares de calidad dependiendo de la (in)existencia de protocolos de control de calidad implementados por las distintas instituciones encargadas de la recopilación de los datos. Dicha fragmentación dificulta el acceso a la información y datos sobre los recursos hídricos y otros aspectos relacionados (ej. socioeconómicos y medio ambientales) en la cuenca. Una de las mayores desventajas de esta fragmentación en la información disponible es el impedimento de la materialización y transformación de esta información en conocimiento por parte de los usuarios, lo cual se traduce en una gestión de los recursos hídricos débil, ineficiente, desestructurada y usualmente sectorial.

Por estas razones la identificación de la información disponible en la cuenca, así como también el estado de ésta en términos de accesibilidad y calidad son componentes claves de este proyecto.

Proceso de identificación de fuentes de información

Para avanzar en el cumplimiento de este objetivo se recopilaron y revisaron numerosas fuentes de información conteniendo datos y aspectos relevantes (físicos, socioeconómicos y medio ambientales) acerca de la CRR. Esta actividad comprendió el desarrollo de una base de datos describiendo las fuentes de información e incluyendo: título del estudio, contenido, autor, año de publicación, resumen y dominio del tema, entre otros. Alrededor de 300 fuentes de información relevantes a este estudio fueron recopiladas

incluyendo informes técnicos y estudios en la región de O'Higgins.⁹ Para asegurar que esta base de datos sea útil para todos los actores de la cuenca, se creó un motor de búsqueda que facilite el acceso de las partes interesadas a la base de datos, la cual está disponible en la página web del proyecto y es de acceso público¹⁰.

La identificación de las fuentes de información y la recopilación de los datos disponibles ayudó a mapear el estado de la información en la cuenca y a identificar los vacíos críticos en la información disponible sobre los recursos hídricos, aspectos ambientales y socioeconómicos, y de infraestructura existentes en la CRR.

Al mismo tiempo, el conocimiento sobre el funcionamiento de la cuenca por parte de los usuarios y actores clave identificados resulta un componente esencial en este proyecto. Con el fin de recopilar dicha información clave sobre la cuenca, el proyecto contempló la realización de una actividad para capturar fuentes de información adicionales e identificar los principales desafíos en la cuenca durante el primer taller de trabajo. La información preliminar recopilada fue presentada en el taller y luego se les solicitó a los participantes indicar qué fuentes de información debiesen ser agregadas a la lista de fuentes revisadas. Esto permitió la identificación de 7 estudios existentes no cubiertos por la revisión original y de muchos estudios inexistentes con que los participantes quisieran contar. También varias organizaciones generadoras de información, no consideradas en la revisión previa, fueron identificadas.

Los resultados y conclusiones sobre la información y desafíos por parte de los asistentes fueron contemplados y analizados por el Equipo Profesional del proyecto e incluidos en la evaluación de los sistemas de información. Se dividió el análisis de revisión de las fuentes de información de la CRR en dos partes: a) las redes hidro-meteorológicas existentes y b) la información y conocimiento disponible. El análisis de las redes hidro-meteorológicas comparó las distintas fuentes de información disponibles y se identificaron los respectivos vacíos críticos. El segundo análisis buscó definir el estado actual de la información y los vacíos críticos identificados con relación a los recursos hídricos y el resto del sistema socio-ecológico en la CRR. A continuación, se presentan los resultados de los análisis que fueron presentados en el segundo taller con los actores clave. Es importante comentar que este análisis fue realizado en 2016 durante la primera etapa del proyecto, por lo tanto, puede haber cambios hasta a la fecha.

a) Análisis de las redes hidro-meteorológicas

Las redes hidro-meteorológicas en Chile están formadas por distintos actores y miden un rango de variables que se pueden clasificar dentro de los siguientes cuatro grupos:

- i. Meteorología
- ii. Agua superficial
- iii. Agua subterránea
- iv. Calidad de agua

Para cada grupo de variables se comparó las distintas fuentes de información disponibles y se identificaron los respectivos vacíos críticos. A continuación, se presenta el resultado de este trabajo.¹¹

⁹ Diversos repositorios digitales administrados por agencias estatales nacionales, agencias internacionales y organismos privados, y conteniendo información relevante sobre los recursos hídricos en la cuenca del Río Rapel fueron revisados. Algunas de las agencias estatales y organismos considerados corresponden a: DGA, DOH, DIRPLAN, MINAGRI, CNR, INDAP, INIA, UNEA, CIREN, CORFO, SISS, Fundación CHILE, CODELCO, COCHILCO, ESSBIO, GORE, INE, UChile, PUC, UdeC, EULA, GWP, CAP-Net, entre otros.

¹⁰ <https://research.csiro.au/gestionrapel/base-de-datos/>

¹¹ Para mayor detalle de las redes de monitoreo analizadas en este punto ver Anexo A.1.

i. Meteorología

Los datos meteorológicos de la cuenca se encuentran en tres fuentes principales:

1) Red Agroclimática Nacional (RAN)

La red depende del Ministerio de Agricultura y reúne a una serie de instituciones públicas y privados que comparten sus datos meteorológicos de las estaciones que administran. Las instituciones que conforman la RAN son:

- Fundación para el Desarrollo Frutícola (FDF)
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)
- Red meteorológica de vinos de Chile (METEOVID)
- Centro de Estudios Avanzados de Zonas Áridas (CEAZA)
- Dirección Meteorológica de Chile (DMC)
- Universidad Austral de Chile (UACH)

A lo largo de Chile la red está compuesta por 322 estaciones, de las cuales hay 36 estaciones para la CRR.

2) Dirección Meteorológica de Chile (DMC)

Además del apoyo que la DMC proporciona a la RAN, la DMC cuenta con tres estaciones adicionales situadas en la CRR que se encuentran en su propio sitio web y cuales son de tiempo real.

3) Dirección General de Aguas (DGA)

La DGA tiene dos plataformas que contienen datos de estaciones meteorológicas:

- Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea (SNIA)
- Servicios Satelitales en Tiempo Real (SATEL)

La DGA cuenta con 24 estaciones meteorológicas que tienen data vigente sobre los últimos 10 años, de los cuales 9 son en tiempo real. La red SNIA tiene data histórica para la CRR a partir del año 1940.

En el Anexo A.1 se presenta la distribución de las estaciones de monitoreo de datos meteorológicos por los distintos fuente y una tabla de comparación de las características principales de las distintas fuentes de datos.

En conjunto, estas fuentes de datos cuentan con 63 estaciones meteorológicas para la CRR, 76% de ellas cuentan con transmisión en tiempo real. Se ha observado además que la distribución de estaciones es relativamente buena en los valles principales de la cuenca y que la disponibilidad de datos históricos de la DGA se considera aceptable. Sin embargo, algunos de los vacíos identificados fueron:

1. La falta de estaciones meteorológicas en el estero Alhué, el sector del embalse de Rapel, el estero de Las Cadenas y el sector alto de la cuenca.
2. En la mayoría de los casos, los protocolos para capturar, procesar, validar, verificar, almacenar y desplegar los datos no están disponibles al público. Esto impacta la percepción de confiabilidad de los datos por parte de los usuarios de la información.

ii. Agua superficial

Los datos acerca de aguas superficiales en la CRR incluyen caudales, niveles de lagos y embalses, carga y transporte de sedimentos, cobertura de nieve, volumen de hielo y temperatura del agua. A pesar de que existen varias fuentes que miden aguas superficiales, la DGA es la única fuente disponible al público a través de sus plataformas en línea previamente mencionadas. La DGA cuenta con 22 estaciones distribuidas en la cuenca que miden aguas superficiales (16 de ellas miden en tiempo real) y que tiene data vigente sobre los

últimos 10 años. En la plataforma SNIA de la DGA, se puede encontrar data histórica para la CRR a partir del año 1914.

En el Anexo A.1 se presenta la distribución de las estaciones de monitoreo que cuentan con datos acerca de aguas superficiales en la CRR y una tabla de comparación de las características principales de las distintas fuentes de datos.

Algunos de los vacíos identificados durante el análisis de las redes de monitoreo de aguas superficiales son:

1. La falta de estaciones en general, especialmente, en el sector alto de la subcuenca Río Tinguiririca, el estero Alhué y el estero de Las Cadenas.
2. Falta de accesibilidad de datos de aguas superficiales de las distintas fuentes; existe una aprehensión por compartir la información.
3. Falta de estaciones nivo-glaciales que apoyen el pronóstico de caudales de deshielo como parte del balance hídrico de la cuenca.
4. Existen vacíos en la disponibilidad de datos históricos de la DGA.

iii. Agua subterránea

Los niveles de agua subterránea se miden principalmente por la Dirección General de Aguas (DGA), Agua Potable Rural (APR) y ESSBIO, sin embargo, solamente los datos de la DGA están disponibles al público y durante el proyecto no fue posible acceder a la información solicitada de las otras fuentes. Por parte de la DGA, existen 66 estaciones subterráneas vigentes en la cuenca (no suspendidas y con datos disponibles durante los últimos 10 años), de los cuales 4 son de tiempo real. A pesar de que se puede encontrar data histórica sobre aguas subterráneas en la plataforma SNIA de la DGA, en muchos casos falta continuidad de medición del agua en la CRR.

En el Anexo A.1 se presenta la distribución de las estaciones de monitoreo de las aguas subterráneas en la CRR y una tabla de comparación de las características principales de las distintas fuentes de datos.

Se considera que la distribución espacial de las estaciones es aceptable en los valles, mientras que la frecuencia de medición es entre 4 y 6 veces por año, lo que podría considerarse insuficiente.

Los vacíos identificados acerca de los datos de niveles de aguas subterráneas fueron:

1. Falta de accesibilidad a los datos de aguas subterráneas recolectados por las distintas fuentes.
2. Existen muchos vacíos en la disponibilidad de datos históricos de la DGA, y existe un retraso de más de un año para contar con la información relevante.
3. Los protocolos para capturar, procesar, validar, verificar, almacenar y desplegar los datos no están disponibles al público. Esto impacta la percepción de confiabilidad de los datos por parte de los usuarios de la información.
4. Falta de estaciones fluviométricas y/o aguas subterráneas que permitan analizar las interacciones entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas en secciones particulares de los ríos de la cuenca.

iv. Calidad de agua

La calidad de agua superficial y subterránea es monitoreada por la Dirección General de Aguas (DGA), Ministerio del Medio Ambiente (MMA) y las Mesas Ambientales, Agua Potable Rural (APR) y ESSBIO. La información acerca de las redes de monitoreo de la DGA, MMA y la Mesas Ambientales ha sido recolectada y procesada, sin embargo, durante este proyecto no fue posible acceder a la información solicitada a APR y ESSBIO, los cuales son las fuentes predominantes de datos de agua subterránea.

Dentro de las estaciones de la DGA y del MMA y Mesas Ambientales existen 54 estaciones de monitoreo en total; la DGA tiene 18 estaciones que miden la calidad de agua superficial y 15 que miden la calidad de agua subterránea, y el MMA y Mesas Ambientales tienen 21 estaciones que miden la calidad de agua superficial. Dentro de las dos fuentes, hay una distribución de monitoreo relativamente aceptable en los ríos principales de la cuenca. Además, existe un amplio rango de variables medidas dentro del total de la cuenca (en promedio, alrededor de 30 variables están medidas por estación), con una frecuencia de medición de 2 a 4 veces al año.

En el Anexo A.1 se presenta la distribución de las estaciones de monitoreo de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas en la CRR y una tabla de comparación de las características principales de las distintas fuentes de datos.

Los vacíos principales identificados sobre la medición de la calidad de aguas fueron:

1. Falta de monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas en especial considerando el emergente problema de contaminación difusa de nitratos y fosfatos reportado recientemente.
2. Falta de estaciones de monitoreo de calidad en el sector bajo de la cuenca, estero Alhué y en la precordillera.
3. Falta de accesibilidad a los datos de calidad de aguas administrados por otras fuentes.

b) Análisis de la información y conocimiento disponible

A continuación, esta sección resume el análisis realizado sobre de la información y conocimiento disponible para la CRR agrupado en los siguientes temas:

- I. Agua superficial
- II. Agua subterránea
- III. Interacción entre aguas superficiales y aguas subterráneas
- IV. Hielos y nieves de montaña
- V. Aspectos socio-económicos y medio ambientales

I. Agua superficial

El análisis de la información disponible sobre las aguas superficiales permitió verificar la existencia de un gran nivel de información y conocimiento en este aspecto. Sin embargo, algunos de los vacíos críticos identificados fueron:

1. Existencia de procesos no documentados y parcialmente desconocidos como son la interacción agua superficial-agua subterránea y la generación de caudales de deshielo (glaciares y/o nieves).
2. Existencia de una limitación en la frecuencia, cobertura y alcance de los pronósticos de disponibilidad de aguas superficiales entregados por la DGA.
3. Existen componentes del balance hídrico que necesitan una mejor estimación (ej. salidas al mar, caudales en cuencas de cabecera, control de extracciones, entre otros).
4. Limitada cobertura espacial y temporal de las estaciones fluviométricas para fines de modelación.

II. Agua subterránea

Un aspecto importante fue el análisis de los antecedentes relacionados a las aguas subterráneas. Si bien el volumen de la información disponible en este aspecto fue menor en comparación al observado para las aguas superficiales, existe un conocimiento básico que nos permite describir los procesos y la dinámica fundamental de las aguas subterráneas a escala regional y/o de cuenca. Parte de este conocimiento permite

identificar los principales acuíferos y describir su geometría y propiedades, conceptualizar el funcionamiento de los sistemas de aguas subterráneas, y estimar los volúmenes disponibles de agua subterránea. A su vez, existen herramientas de modelación de flujo de aguas subterráneas para los acuíferos de Cachapoal, Tinguiririca y Alhué. Si bien esto resulta positivo, existen algunos vacíos críticos como:

1. El modelo conceptual actual sobre el funcionamiento de los acuíferos y las herramientas de modelación disponibles en la actualidad son apropiadas sólo a una escala regional.
2. No existe información detallada para caracterizar la geometría basal del acuífero, para cuantificar los procesos de afloramientos e infiltraciones en los cauces principales, y determinar el almacenamiento de largo plazo de los acuíferos.
3. Falta de herramientas para evaluar el alcance y el impacto del emergente problema de contaminación de aguas subterráneas en áreas agrícolas reportado recientemente por la DGA.
4. Falta de información actualizada para contar con una herramienta robusta de evaluación de las aguas subterráneas.

III. Interacción entre aguas superficiales y aguas subterráneas

La interacción aguas superficiales-aguas subterráneas está documentada y es reconocida como un proceso importante en el funcionamiento de los acuíferos y balances hídricos, y que se manifiesta como afloramientos y pérdidas en ciertas secciones de los cauces principales. Un vacío crítico relacionado a este aspecto corresponde a:

1. Existe limitada información fluviométrica para validar la interacción aguas superficiales-aguas subterráneas, por lo que permanece como una fuente considerable de incertidumbre.

IV. Hielos y nieves de montaña

En términos de la presencia de hielos y nieves de montaña como parte de los procesos hidrológicos presentes en la cuenca, existe información actualizada y relevante que ha permitido catastrar los glaciares en la región, mapear la cobertura de nieve máxima y mínima, monitorear la evolución de los glaciares en el tiempo, y estimar los aportes potenciales de volúmenes de deshielo. Sin embargo, algunos de los vacíos críticos identificados son:

1. La información que ayuda a describir los procesos de generación de caudales desde nieves y glaciares es limitada. Por ejemplo, existe sólo una estación de rutas de nieve (Chapa Verde, 2370 msnm) disponible en la región.
2. Aún existen incertidumbres para describir uno de los principales glaciares de la región (Glaciar Universidad) y datos para evaluar el impacto de escenarios de cambio climático.
3. Si bien se reconoce una tendencia a que la línea de nieve se encuentre a mayor altura, no existe información/datos que permita evaluar el impacto futuro de este escenario sobre la disponibilidad de recursos hídricos en la cuenca.

V. Aspectos socio-económicos y medio ambientales

Con relación a los aspectos socioeconómicos y medio ambientales, existe gran cantidad de información disponible, altamente fragmentada y dispersa. Sin embargo, el estudio titulado “Reporte Huella Hídrica en Chile – Sectores prioritarios de la cuenca del río Rapel” (2016) realizado por Fundación Chile presenta el compendio más actualizado y completo recopilando estos antecedentes. Al igual que con los aspectos anteriores, algunos de los vacíos críticos identificados corresponden a:

1. Información sobre sectores productivos se encuentra dispersa y fragmentada y disponible a escala regional, no a nivel de cuenca.
2. Acceso a la información relacionada a los caudales de extracción y descarga de RILES de los sectores industria y minería es restringido o inexistente.
3. Existe un impacto potencial de los efluentes del sector pecuario sobre la calidad de las aguas subterráneas.
4. Existe una gran incertidumbre al evaluar las descargas domésticas rurales en la cuenca en términos de caudales y concentraciones efluentes.

3.4.2 Definición de herramientas de gestión de recursos hídricos

El levantamiento de información descrito en el punto anterior fue uno de los insumos para identificar herramientas para la gestión de los recursos hídricos en la CRR. El uso de herramientas diseñadas para abordar las necesidades y desafíos identificados en la cuenca ayudará a mejorar significativamente la gestión de recursos hídricos mediante el llenado de un vacío real en el conocimiento y permitir cuantificar el avance hacia la visión compartida. En la actualidad, existe un rango amplio y diverso de herramientas y tecnologías utilizadas para la gestión de los recursos hídricos, las cuales poseen variados alcances y restricciones de diseño, aplicación e implementación.

La selección de herramientas para la gestión de recursos hídricos en una cuenca normalmente dependerá de la situación actual y la situación futura deseada para la cuenca. Junto con el establecimiento de los problemas percibidos por parte de los actores claves, el desarrollo de una visión y un análisis de la información/datos disponibles, fue posible identificar las herramientas más adecuadas para la CRR. Este proceso se alinea con uno de los objetivos principales del proyecto:

“Diseño participativo de las actividades necesarias para desarrollar las herramientas de gestión informática requeridas para la gestión integrada de la cuenca de Rapel”.

En general, las herramientas podrían ser clasificadas dentro de tres grupos principales:

1. **Plataformas de información – gestión de datos** que facilitan la gestión de los datos y la información disponible. Algunas de las funciones propias de estas plataformas corresponden a la recolección, actualización y almacenamiento de datos; control y seguimiento de la calidad de los datos; accesibilidad y distribución de la información, y despliegue de los datos en diversos formatos (mapas, tablas, series de tiempo).

Una de las herramientas más atractivas en esta categoría corresponde a los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales sistematizan grandes cantidades de información geo-espacial para su posterior organización, manipulación, análisis y modelación.

2. **Herramientas de análisis de los sistemas de recursos hídricos** que facilitan la cuantificación, predicción y planificación. Dentro de este grupo de herramientas es posible identificar:
 - *Herramientas de evaluación de recursos hídricos*, incluyendo modelos de simulación de aguas superficiales, subterráneas, modelos integrados (interacción de aguas superficiales – aguas subterráneas, índices de sequías, huella hídrica, indicadores de disponibilidad/uso de aguas, entre otros.
 - *Herramientas de planificación y desarrollo de recursos hídricos*, donde se incluyen modelos avanzados de gestión y planificación, modelos orientados a la optimización de redes/distribución de aguas, y los modelos hidro-económicos e hidro-ecológicos.

- *Modelos de procesos/conceptuales*, donde se incluyen por ejemplo los balances hídricos a nivel de subcuenca, cuenca o regional.

3. Herramientas de interfaz entre ciencia – políticas las cuales facilitan la toma de decisiones mediante la aplicación de modelación de recursos hídricos, evaluación de escenarios, despliegue de potenciales compromisos (trade-offs), análisis multi-criterio, entre otros.

Dentro de este grupo se encuentran los Sistemas de Apoyo a la Toma de Decisiones (SATD) (o DSS de su sigla en inglés). Los SATD consideran generalmente cuatro componentes: sistema de información y base de datos, modelos y herramientas de análisis, marcos de evaluación (social, económica, ambiental), y una interfaz de usuario para comunicar los resultados.

Una lista preliminar de todas de las herramientas identificadas que tienen la potencialidad de ser útil para la gestión de la cuenca fue preparada y presentada en el primer taller que tuvo el objetivo de identificar las más relevantes para los usuarios de la cuenca. La lista, que se presenta a continuación, incluye ejemplos de herramientas implementados en distintas partes del mundo seleccionados por el equipo de CSIRO:

1. Herramientas observatorias del globo: teledetección y SIG, GEONETCast toolbox
2. Herramientas de la evaluación de recursos hídricos: SWAT
3. Desarrollo de escenarios y herramientas de planificación: WEAP
4. MODSIM-DSS (CSUDP): Optimización de la asignación de la red del río
5. RIBASIM: herramientas de la gestión de la cuenca del río
6. RiverWare
7. AQUATOOL (UPV)
8. SOURCE – eWater (CSIRO)
9. Nexus webs (CSIRO): marco de referencia conceptual para evaluar los “trade-offs” desde una perspectiva de “triple bottom line”
10. Los sistemas de soporte de decisiones basadas en Internet
11. Análisis de sistema, análisis multicriterio (MCA, mdSS4 – desarrollado dentro el proyecto Molino), matrices de decisiones, los métodos de decisiones de múltiples atributos (MADM)
12. IWRM Vietnam: Balance hídrico, herramienta de riesgo de contaminación, herramienta de clasificación
13. WISDOM Project: Río Mekong: Plataforma de Información de Tierra y Agua
14. Proyecto Molino: Limarí y Maule
15. Latin America Flood and Drought Monitor: Princeton University-UNESCO
16. Proyectos SMART y SMART2: DAISY, SMART-DSS, DROPELIA
17. FlowLogo

Las herramientas mencionadas se basaron en los principales desafíos encontrados en la CRR de acuerdo a la revisión de lo mencionado durante el primer taller, los estudios disponibles y las reuniones con el Grupo Asesor. Además, se tomaron en cuenta las herramientas de gestión que ya existen para la cuenca, con el propósito de incorporarlas, y no desperdiciar recursos ya invertidos, identificándose los siguientes aspectos:

1. No existe una plataforma única donde acceder a la información relevante para la gestión de recursos hídricos en la CRR.
2. No existe una herramienta de modelación integrada que nos permita caracterizar los recursos hídricos bajo distintos escenarios de operatividad y/o climáticos.

3. No existe una herramienta que apoye la toma de decisiones donde los distintos compromisos económicos, sociales y medio ambientales relevantes a la cuenca sean analizados.
4. No existe una herramienta para analizar el problema de la contaminación de las aguas subterráneas.
5. Aspectos como la telemetría para medición de caudales, herramientas de pronóstico de caudales, herramientas de almacenamiento y despliegue de la información (SIG), plataforma única de información, y herramienta de balance hídrico, son todos aspectos relevantes para las partes interesadas.

A partir de las necesidades, desafíos y herramientas desarrolladas en la actualidad para la CRR, y sobre la base de la experiencia técnica que posee CSIRO en este tema, se identificaron trece (13) elementos preliminares para diseñar las herramientas de gestión:

1. Contabilidad hídrica – balance hídrico (medición del recurso hídrico)
2. Telemetría (cuantificación y alimentación de la plataforma de información)
3. Acceso a la información (plataforma única de información)
4. Control de calidad de la información y repositorio de datos
5. Despliegue de la información de manera amigable y digerible
6. Sistema de denuncias de extracciones ilegales
7. Modelación integrada de los recursos hídricos
8. Pronóstico de caudales
9. Calidad de las aguas
10. Biodiversidad
11. Toma de decisiones
12. Eventos extremos
13. Modelación participativa

Con estos elementos en mente se propuso un esquema de trabajo sobre el cual discutir y diseñar potenciales herramientas para la cuenca de Rapel, el cual se presenta en la Figura 6.

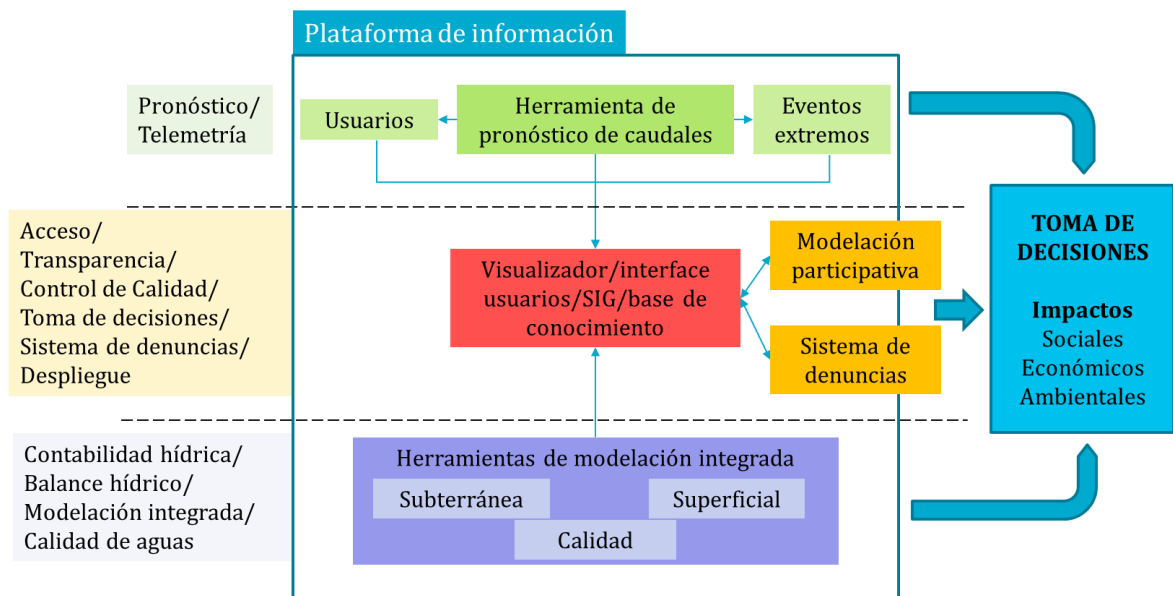


Figura 6. Diagrama explicativo de la interacción de las posibles herramientas identificadas y los elementos claves discutidos por los actores durante los talleres.

Cada uno de los trece (13) elementos preliminares se asocia con al menos un nivel de desarrollo de las herramientas. La plataforma de información propuesta agruparía estas herramientas, y serviría a su vez como

interfaz para acceder a la información disponible. Se anticipa que algunas herramientas necesitarán ser desarrolladas y diseñadas por completo, mientras que otras herramientas podrán ser reutilizadas dependiendo de las capacidades que éstas posean en la actualidad. Por ejemplo, existen herramientas de modelación de recursos hídricos como SWAT, MPL, MAGIC, disponibles pero las cuales no se encuentran integradas entre sí.

Se avanzó desde los elementos de las herramientas y la interacción entre ellas, aspectos presentados en el taller 2, a la selección y detalle de 7 herramientas que logran incluir las funciones y elementos más relevantes, las que fueron presentadas por medio de fichas (ver anexo A.2) donde se resumieron sus principales características y requerimientos para su desarrollo:

1. Medición (suplementaria) de caudales
2. Modelo de pronóstico de caudales (y eventos extremos)
3. Plataforma de información / visualizador gráfico
4. Herramienta de modelación integrada
5. Sistema / módulo de apoyo a la fiscalización
6. Modelación participativa
7. Sistema de apoyo a la toma de decisiones

Luego, se realizó una actividad individual, donde los asistentes al taller completaron una ficha relacionada con los desafíos del desarrollo de las herramientas y la sugerencia de quién/quienes deberían hacerse cargo y financiarlas. Durante el plenario los asistentes plantearon sus ideas y comentarios.

De las 7 herramientas previamente identificadas, con el Grupo Asesor se decidió desarrollar la modelación participativa (SimRapel) con el fin de apoyar a la gobernanza. Como se explicó al inicio de la sección, SimRapel es una herramienta que permite apoyar la gobernanza tanto desde los resultados de las modelaciones que puede generar una vez desarrollada la herramienta, como en el proceso de modelación participativa con el que se construye.

El impacto del proceso de elaboración de este tipo de herramientas puede constatarse en la evaluación final de “SimCopiapó”¹² desarrollada por CSIRO con los actores de la cuenca del Río Copiapó. Entre algunos de los resultados de una encuesta realizada al final respecto del “proceso participativo para la construcción de la herramienta”, un 84,7% de los actores expresó que había aportado a la construcción de un lenguaje y entendimiento común como punto de partida inicial para la discusión. Un 92,3% de los actores expresó que el proceso había sido efectivo para incorporar conocimientos diversos de un rango de actores. El 77% de los actores expresó un mejoramiento del entendimiento de los problemas de la cuenca del Río Copiapó y sus interrelaciones con otros factores (sociales, económicos, ambientales). Finalmente, un 84,6% de los actores expresó que el proceso de construcción de la herramienta le ayudó a entender el razonamiento de otros actores.

Es importante destacar que, sin una gobernanza efectiva, es probable que las herramientas no logren los resultados esperados en términos de los recursos hídricos. Adicionalmente, otros factores deben ser considerados en la implementación, como el capital humano que se requiere para su gestión, los recursos técnicos para sostener estas herramientas, etc.

¹² SimCopiapó desarrolló una plataforma interactiva (Castilla-Rho et al., 2015), la cual permitió acoplar el simulador social (Modelo Basado en Agentes) y el simulador físico (modelos hidrológicos mejorados). El modelo desarrollado permite recrear y explorar escenarios futuros probables de fenómenos hidro-sociales complejos dentro de la cuenca del Río Copiapó, a través de un proceso que destaca la aparición de interacciones desde el nivel más elemental (micro) al más elevado (macro) permitiendo una evaluación integrada de estas realidades.

3.4.3 Evaluación costo-beneficio de la implementación de herramientas

En esta sección se realiza una evaluación del impacto económico del desarrollo de las 7 herramientas informáticas seleccionadas para la CRR descritas en la sección anterior. El objetivo de este estudio es evaluar económicamente los beneficios versus los costos de la implementación de las herramientas.

La información bien usada puede potenciar beneficios económicos y sociales, alguno de los cuales pueden ser valorizados. Se ha desarrollado una teoría alrededor del Valor de la Información (VOI por sus siglas en inglés) y existe una serie de métodos para medirla. La información en sí misma no produce una reducción de los daños y pérdidas, ni un aumento en la eficiencia y productividad agrícola, o disminución de la contaminación del agua, **sino que son las mejores decisiones, facilitadas por su uso, las que permiten estos beneficios**. La noción básica es que una mejora incremental en los sistemas de observación (incluyendo recolección de información, interpretación y modelos) resultará en una **mejora en la calidad de las decisiones basadas en esa información**. Esto conducirá, a su vez, a resultados sociales beneficiosos, que tienen un valor económico. Este concepto fue desarrollado por Fritz et al. (2008), y se denomina "Cadena de Beneficios".

Cuanto más precisa y robusta sea la información, más eficiente y eficaz será la planificación y la implementación de las medidas de adaptación, y menor será la probabilidad de que los recursos sean mal asignados (SBI, S.F.). El valor de la información es esencialmente el resultado de una elección en situaciones inciertas y este valor depende en gran medida de varios factores (Macauley, S.F.):

- i. qué tan inciertos están los responsables de la toma de decisiones
- ii. qué está en juego como resultado de sus decisiones
- iii. cuánto cuesta utilizar la información para tomar decisiones
- iv. qué precio tiene el mejor sustituto cercano de la información

Mientras mayor sean (i) y (ii), mayor será el valor de la información. Mientras mayores sean (iii) y (iv), menor será ese valor.

El valor de la información depende de la incertidumbre respecto a la decisión en cuestión. Si hay pocas acciones disponibles, entonces la información puede tener poco valor incluso si prácticamente elimina la incertidumbre. Por el contrario, si los costos de las acciones difieren ampliamente, entonces la información puede ser muy valiosa, aunque reduzca muy poco la incertidumbre. Macauley (S.F.) demuestra que el valor de la información es cero cuando el tomador de decisiones no tiene incertidumbre. La información tampoco tiene valor cuando no hay acciones alternativas disponibles, incluso si se puede obtener información, o cuando una decisión equivocada no dará lugar a ningún costo. Por el contrario, la información es valiosa cuando los costos asociados con una acción incorrecta son altos, cuando existen muchas acciones alternativas disponibles y cuando el tomador de decisiones no tiene una preferencia extrema por una o más de las alternativas.

El valor de la información también depende del valor de la producción de los sectores productivos o actividades económicas a los cuales esa información afecta.

En resumen, los individuos pueden estar dispuestos a pagar por información dependiendo de la incertidumbre que tengan y de lo que esté en juego. Pueden estar dispuestos a pagar información adicional o información mejorada, siempre que la ganancia esperada sea mayor al costo de obtener la información (Macauley, S.F.).

El enfoque básico para medir el valor de la información requiere (Kite-Powell et al., 2005):

- I. Una descripción de la información a valorar y el grado de incertidumbre de los fenómenos acerca de los cuales informa.
- II. Un modelo que describa de cómo esa información se usa para tomar decisiones. En general las decisiones se toman con información imperfecta, bajo cierto grado de incertidumbre sobre cómo se desarrollarán los hechos y cuál será el resultado. Por lo tanto, la valoración económica de la información se basa en valores esperados. Los valores esperados son valores ajustados por la probabilidad de ocurrencia.
- III. Un modelo de cómo estas decisiones afectan los resultados físicos.
- IV. Un modelo de cómo los resultados físicos pueden traducirse en resultados económicos.

Dada la disponibilidad de información y los alcances de este proyecto se ha optado por desarrollar estimaciones respecto al valor potencial de la información. Es por esto por lo que se aplica una regla empírica desarrollada por Nordhaus (1986), la que plantea que el valor de las predicciones meteorológicas y climáticas para las actividades económicas que son sensibles al clima tiende a ser del orden del 1% de la actividad económica en cuestión. Es decir, los sectores productivos tenderían a beneficiarse de las herramientas en un 1% de su actividad económica. El hallazgo de Nordhaus ha constituido la base de una serie de estudios que han cuantificado los impactos en diferentes industrias como la del trigo, algodón, electricidad, jugo de naranja, entre otros.

Reconocidas instituciones y autores han utilizado este enfoque para medir el Valor de la Información (VOI):

- a. Booz&CO (2011) lo utilizó para un análisis Costo-Beneficio de GMES (Global Monitoring for Environment & Security).
- b. El National Oceanic and Atmospheric Administration de Estados Unidos (NOAA) lo utilizó para estimar los beneficios económicos de instalar el sistema de información PORTS Physical Oceanographic Real-Time System. El estudio del NOAA primero identificó las actividades que podían ser afectadas por la observación oceanográfica, las cuales incluían actividades recreacionales, transporte de carga, salud, seguridad, energía y pesca, y se utilizó el supuesto que el excedente social era del 1% del total del valor de la actividad. Este supuesto fue reconocido como muy conservador.
- c. Kite-Powell (2008) también usó este enfoque para estimar los beneficios económicos de sistemas de observación de océanos, y reconoció los beneficios de esta metodología cuando no existen estudios que den cuenta de la disposición a pagar de los usuarios.
- d. Zhang (2010) usó este enfoque para evaluar el potencial beneficio económico del New South Wales Integrated Marine Observing System (NSW-IMOS) en Australia.
- e. Hagan (2010) también escribió un artículo sobre Sistemas de Observación de Océanos donde el valor económico fue evaluado siguiendo el enfoque de Nordhaus.

Por lo tanto, para el cálculo de los beneficios de obtener mejor información se aplicó la Regla de Nordhaus en donde se utilizaron las siguientes fuentes de información:

- ✓ Para medir el nivel de producción de cada actividad, se utilizó el Valor Bruto de Producción.

- ✓ Se asumió un crecimiento anual de los sectores productivos igual al crecimiento proyectado por el Fondo Monetario Internacional (FMI) para la economía de Chile para un horizonte de 8 años¹³ y se descontó a una tasa social del 6%.¹⁴

Beneficios

Una mejora incremental en los sistemas de observación (incluyendo recolección de información, interpretación y modelos) producirá beneficios económicos, sociales y medioambientales. El análisis que se ha desarrollado en este estudio intentó identificar los diferentes beneficios que conllevan las herramientas. Se logró identificar tres tipos de beneficios:

- 1) Beneficios para el sector productivo
- 2) Beneficios no cuantitativos
- 3) Beneficios de corrección de asimetría de información.

1) Beneficios para sectores productivos:

Las herramientas generarían beneficios en los sectores productivos como el agrícola, minero, industrial, energético y turismo. Para analizar los beneficios de las herramientas en los sectores productivos, se identificó en qué aspectos cada sector productivo se podría beneficiar particularmente de las herramientas. El sector agrícola podría utilizar el agua de manera más eficiente, lo que aumentaría la disponibilidad de agua, aumentando la productividad, rendimiento y producción. En la minería, la mejor información podría permitir una mayor disponibilidad de agua que se traduciría en asegurar planes de inversión futura y mejorar el manejo de aguas contaminadas. En el sector industrial, las decisiones que podían tomar las industrias gracias a la mejor información permitirían mejorar la calidad de agua, disminuir los costos de tratamiento, reducir la contaminación del agua y mejorar los rendimientos asociados al uso de agua, que en su conjunto tendría como consecuencia la disminución de costos. Además, en el sector energético, la información hídrica es esencial para el buen funcionamiento de las centrales hidráulicas, ya que datos sobre los caudales son lo que pueden determinar una generación segura de la energía. También, la información permitiría a los turistas tomar mejores decisiones respecto a sus actividades, lo cual redundaría en un aumento en la cantidad de turistas o la disposición a pagar por actividades recreativas, además de asegurar una provisión más segura para el sector.

2) Beneficios no monetarios:

En segundo lugar, existen muchos efectos no cuantificables monetariamente que surgen gracias a las mejoras en la información, los cuales tienen un enorme impacto social y ambiental que habilitan a afirmar que los beneficios son ampliamente mayores que los estimables numéricamente. Estos beneficios no se tomarán en consideración en el análisis costo vs beneficio.

La información sobre recursos hídricos tiene los siguientes beneficios potenciales que son de carácter transversal (Winpenny, S.F.):

1. Ayuda a la toma de decisiones convirtiendo la incertidumbre en riesgo, que es más manejable. Cuando existe mejor información, la ignorancia y la incertidumbre (por ejemplo, sobre el estado de los recursos hídricos o la probabilidad de un evento extremo como sequía o inundación) pueden

¹³ Para el periodo 2014-2021, el FMI proyectó un crecimiento promedio anual del 2,52% para la economía chilena.

¹⁴ En Chile se calcula de manera periódica la tasa social de descuento, siguiendo la metodología de Harberger bajo el enfoque del promedio ponderado. El último estudio de actualización, solicitado por el Ministerio de Desarrollo Social, fue desarrollado por Capablanca Limitada en mayo de 2013. La tasa que se usa es de 6%.

convertirse en riesgo (la probabilidad de un evento multiplicado por el tamaño de su impacto). La información actúa como un seguro, en el cual el riesgo es más fácil de manejar y permite, por lo tanto, tomar medidas para mitigarlo.

2. Reduce la ignorancia y la incertidumbre, que son elementos importantes de las fallas del mercado. Los agentes privados responden a las oportunidades del mercado (por ejemplo, las nuevas tecnologías del agua) o incentivos para cambiar su comportamiento (por ejemplo, cargos por contaminación, mercados de agua) de una manera racional. Sin embargo, los agentes no actúan racionalmente si carecen de información que influya en sus decisiones.
3. Permite una mejor elección de infraestructura. La infraestructura física del sector del agua es muy costosa (por ejemplo, canales de navegación, sistemas hidroeléctricos, sistemas de riego, protección contra inundaciones, suministro de agua, distribución y tratamiento, etc.). Estos proyectos implican estudios caros, largos procedimientos de planificación, períodos de implementación extendidos y grandes obras físicas. La disponibilidad de datos hidrológicos básicos (por ejemplo, precipitaciones, caudales fluviales, niveles de aguas subterráneas, tasas de sedimentación) puede reducir las demoras y permitir especificaciones más precisas de los proyectos. La mejora de los datos puede permitir reducir las medidas de contingencia, con lo que se ahorrarán costos.
4. Sienta las bases de la democracia del agua, dando a los ciudadanos y usuarios más control sobre sus vidas y haciendo a las instituciones públicas más responsables de sus acciones. Los ciudadanos necesitan tener acceso a información buena y de fácil uso sobre un recurso tan relevante para sus vidas como es el agua (por ejemplo, la calidad del agua potable, las previsiones meteorológicas estacionales, la probabilidad de sequía e inundación, el vínculo entre el agua contaminada y la enfermedad). Esto es necesario para un debate debidamente informado entre las principales partes interesadas sobre las políticas de agua o proyectos específicos, y entre los clientes y sus proveedores. Aun cuando es un proceso lento, el poder acceder a la información es el primer paso para poder hablar de sociedades concientizadas con la problemática ambiental de su entorno y su comunidad.

La Tabla 3 sintetiza los principales beneficios de contar con mejor información.

Tabla 3. Beneficios de contar con mejor información, por sector relevante en la CRR.

Sector	Beneficio
Agricultura	Mejoras en la eficiencia de la irrigación
	Aumento en la producción
	Mejor manejo de riesgo
Turismo	Aumento gasto turismo
Minería	Concreción de inversiones proyectadas
	Disminución de contaminación
Industria	Mayor previsibilidad en el suministro de agua, se evitan pérdidas de producción
	Mejoramiento en calidad del agua
	Disminución en costos de tratamiento
	Disminución de contaminación
Energía	Mayor previsibilidad en el suministro de agua, se evitan cortes energéticos
Sector público	Mejor planeamiento en el diseño de políticas públicas
Comunidad	Disminución de la contaminación
	Prevención ante eventos extremos
	Mejor cobertura de agua potable
	Sienta las bases para la democracia del agua
	Mejor elección de infraestructura

3) Beneficios de corrección de asimetría de información (que causa contaminación):

Según la literatura, la contaminación ambiental ocurre debido a la existencia de fallas de mercado (externalidades, información asimétrica, ausencia de derechos de propiedad, ausencia de un sistema de precios, etc.) lo cual conduce a que las empresas maximicen sus beneficios considerando únicamente sus costos privados de producción y omitiendo aquellos sociales y ambientales.

Entonces, la contaminación hídrica generada en la cuenca es una externalidad negativa, ya que los contaminantes están traspasando a otros algunos de sus costos. Los habitantes y sectores productivos que se encuentran más abajo del punto donde se está contaminando son afectados, además del ecosistema que también se ve perjudicado.

Por lo tanto, la información generada por las herramientas tecnológicas a desarrollar representa un beneficio ya que intentará solucionar algunas de las fallas de mercado asociadas a las asimetrías en la información. Esto permitiría que aquellos que contaminen paguen por el daño que ocasionan, ya sea pagando multas por contaminar o disminuyendo su producción.

La contaminación hídrica en la CRR es producida principalmente por 3 sectores: saneamiento, minería e industria. El Estudio de Huella Hídrica realizado por Fundación Chile, calcula la huella hídrica (HH) gris en la región, la cual cuantifica las variaciones de la calidad del agua fresca que ha sido utilizada en el proceso de producción y que luego ha sido devuelta a un cuerpo de agua receptor. La HH gris se calcula mediante el volumen total de agua fresca que es requerido para diluir los elementos que se han descargado al agua (Garcés, 2011). Según el estudio, la HH gris para el sector minero es de un 62%, para el sector doméstico de un 32%, para el sector industrial y agropecuario de un 5% (Fundación Chile, 2015).

La actividad minera, por ende, genera una externalidad negativa para la población aguas abajo, la actividad turística, agricultores y otros actores de la cuenca¹⁵. La externalidad generada por la contaminación hídrica que produce la actividad se mide a través del precio sombra. El precio sombra representa el costo marginal de la emisión de una unidad de contaminación ambiental minera en los recursos hídricos. En otras palabras, el precio sombra indica cuánto tienen que renunciar la mina El Teniente de su ingreso para reducir la producción de los relaves en una tonelada. El análisis arrojó que el precio sombra de la contaminación hídrica que realiza la mina El Teniente asciende a USD 67,8 millones.¹⁶

Para medir los beneficios para los sectores productivos de tener las herramientas se utiliza la regla empírica de Nordhaus, la cual asume que la información incremental permite tomar mejores decisiones que representarían en un escenario conservador un incremento del 1% del valor de cada actividad. Utilizando el Valor Bruto de Producción¹⁷ para cada actividad en la CRR, se obtiene como resultado un beneficio incremental de más de **70 millones de dólares** el primer año para el total de sectores productivos de la cuenca. Además, ese beneficio anual también se obtiene para los años futuros, por lo que se calcula el valor presente de esos beneficios para 8 años, descontados a una tasa social de 6%. El beneficio para todos los sectores productivos en 8 años es de más de **500 millones de dólares** (ver Tabla 4).

¹⁵ Este análisis debiera complementarse a futuro para establecer en mayor detalle el impacto de otras actividades como la agricultura, así como la valorización más detallada de las externalidades negativas.

¹⁶ Análisis propio, se utilizó el software DEAP 2.1 (Data Development Analysis Program-Versión 2.1). Más detalle en el informe Estimación de impacto económico del desarrollo de herramientas informativas y predictivas para la CRR.

¹⁷ El VBP se obtiene a partir de la Matriz Insumo Producto y representa una buena aproximación de la facturación de un sector en un año específico. Se diferencia del Producto Interno Bruto (PIB), porque el PIB mide el valor agregado de los bienes y servicios que se van añadiendo en cada etapa de la cadena de valor, mientras que el VBP mide el valor total de los bienes y servicios producidos en una actividad, independientemente si son bienes intermedios o finales. Se utilizó la matriz insumo producto del año 2013 (último año disponible cuando se realizó este análisis) que publica el Banco Central de Chile.

Tabla 4. Cuantificación de los beneficios de contar con mejor información en la CRR, aplicando la Regla de Nordhaus (elaboración propia).

SECTOR	Beneficio primer año USD		Valor actual de los beneficios USD	
Industria	USD	25.348.760	USD	180.957.190
<i>Fabricación de pan</i>	<i>USD</i>	<i>888.583</i>	<i>USD</i>	<i>6.343.327</i>
<i>Fabricación de productos metálicos</i>	<i>USD</i>	<i>1.857.906</i>	<i>USD</i>	<i>13.263.030</i>
<i>Fabricación de prendas de vestir</i>	<i>USD</i>	<i>282.319</i>	<i>USD</i>	<i>2.015.392</i>
<i>Fabricación de muebles</i>	<i>USD</i>	<i>300.093</i>	<i>USD</i>	<i>2.142.272</i>
<i>Fabricación de otros artículos de madera</i>	<i>USD</i>	<i>677.568</i>	<i>USD</i>	<i>4.836.957</i>
<i>Fabricación de otros alimentos</i>	<i>USD</i>	<i>602.528</i>	<i>USD</i>	<i>4.301.263</i>
<i>Fabricación de otros textiles</i>	<i>USD</i>	<i>234.445</i>	<i>USD</i>	<i>1.673.629</i>
<i>Fabricación de maquinaria</i>	<i>USD</i>	<i>2.298.358</i>	<i>USD</i>	<i>16.407.291</i>
Minería	USD	32.875.120	USD	234.685.613
<i>Cobre</i>	<i>USD</i>	<i>29.947.040</i>	<i>USD</i>	<i>213.782.930</i>
Silvo agropecuario	USD	6.607.025	USD	47.165.569
<i>Cereales</i>	<i>USD</i>	<i>1.152.457</i>	<i>USD</i>	<i>8.227.042</i>
<i>Frutales</i>	<i>USD</i>	<i>3.658.807</i>	<i>USD</i>	<i>26.119.124</i>
<i>Vinas</i>	<i>USD</i>	<i>1.403.770</i>	<i>USD</i>	<i>10.021.094</i>
<i>Plantaciones Forestales</i>	<i>USD</i>	<i>87.699</i>	<i>USD</i>	<i>626.058</i>
Electricidad	USD	4.489.868	USD	32.051.821
Turismo	USD	793.562	USD	5.665.000
TOTAL	USD	70.114.336	USD	500.525.193

Costos

De acuerdo con los datos recolectados, el costo de las herramientas informáticas varía entre 0,92 millones de dólares y **2,6 millones de dólares** dependiendo el escenario a desarrollar:

- Escenario Mínimo: Este escenario consiste en una plataforma de información con un visualizador/interfaz para usuarios que contendrá con toda la información y datos que ya existen acerca de la cuenca, incluyendo los modelos existentes. El costo estimado para este escenario es alrededor de USD 920.000.
- Escenario Máximo: Este escenario consiste en todos los componentes de herramientas propuestos en el esquema conceptual, basado en su máximo nivel de desarrollo. El costo estimado para este escenario es alrededor de USD 2.600.000
- Escenario Medio: Este escenario consiste en una combinación de los elementos de herramientas. Este costo sería alrededor de USD 1.850.000.

Los datos obtenidos en el presente estudio no deben compararse directamente con los costos proyectados de las herramientas sin análisis adicional. Sin embargo, podemos concluir que aún en un escenario muy conservador, de bajo impacto económico y altos costos de las herramientas, los beneficios de una inversión en tales sistemas es probable que excedan los costos. Esto significa que el desarrollo de las herramientas propuestas será conveniente para la CRR. Además, existen más beneficios que no se están tomando en consideración en el análisis cuantitativo, por lo que probablemente los beneficios van a exceder a los costos aún más de lo cuantificado.

Las estimaciones en el presente informe asumen:

- Un desarrollo completo y exitoso de las tecnologías

- Una comunicación efectiva y oportuna de la información derivada de los sistemas de información
- Los usuarios son conscientes de la información y la incorporan racionalmente a sus decisiones

Si no se cumplen estas condiciones, los beneficios podrían verse disminuidos considerablemente.

3.5 Desarrollo de herramienta SimRapel

Como se mencionó anteriormente, SimRapel fue seleccionada por el GA entre las 7 herramientas previamente identificadas, la que permite la modelación de escenarios posibles a través de un proceso de “modelación participativa”, que apoya y fortalece la gobernanza de la CRR. SimRapel es una herramienta que permite a los usuarios explorar procesos hidrológicos (subterráneos y superficiales) en la CRR, y entender las posibles trayectorias de la cuenca en base a criterios y objetivos económicos, ambientales, y sociales. Para ello, SimRapel integra, acopla, y actualiza el estado del arte en modelos hidrológicos que han sido desarrollados por diversas organizaciones (DGA, DICTUC, EULA, etc.). Es una herramienta flexible y desarrollada en base a código abierto y software libre (no hay requerimientos ni costos de licencia).

3.5.1 Modelos hidrológicos

Para evaluar las estrategias hídricas definidas para la CRR (ver Sección 3.5.2), se empleó una serie de herramientas de modelado previamente desarrolladas en estudios independientes (DICTUC, 2005; Zambrano-Bigiarini y Pagliero, 2016; Pagliero y Zambrano-Bigiarini, 2016). El trabajo consistió en actualizar la información necesaria para ejecutar estas herramientas, mejorar la representación de los procesos hidrológicos clave (por ejemplo, operación de embalses, evaporación de embalses, infiltración de tramos de ríos) y acoplar estos modelos para evaluar los impactos de implementar un grupo de estrategias predefinidas por los actores claves. El objetivo final fue utilizar los resultados del modelo para respaldar futuras iniciativas de gobernanza colaborativa del agua en la cuenca.

La Figura 7 muestra el marco integrado de modelación empleado para este proyecto. Este marco es una extensión del enfoque utilizado por Zambrano-Bigiarini y Pagliero (2016) y Pagliero y Zambrano-Bigiarini (2016), que agrega la simulación explícita de los recursos de agua subterránea en los principales acuíferos regionales de la CRR (Cachapoal, Tinguiririca y Alhué). Los principales componentes de este marco incluyen el modelado hidrológico utilizando el modelo de Evaluación de Agua y Suelo (SWAT por sus siglas en inglés) (Arnold et al., 2013), la evaluación de la gestión del agua utilizando el modelo MAGIC (Modelación Analítica, Genérica e Integrada de Cuencas) (Zambrano et al., 2005), y evaluación de los recursos hídricos subterráneos de los principales acuíferos utilizando el modelo MODFLOW (Harbaugh, 2005).

El acoplamiento de estas herramientas se realizó a través de los enlaces correspondientes entre cada componente de modelado como se muestra en la Figura 7. El primer paso consistió en simular la hidrología de la CRR utilizando SWAT. Los resultados de SWAT (por ejemplo, precipitación distribuida, PET, descargas no calibradas) se utilizaron como impulsores para el modelo MAGIC junto con información sobre zonas de riego y acuíferos. El segundo paso fue la modelización de las estrategias de gestión del agua a través del modelo MAGIC, que resultó en la estimación de descargas fluviales, balances hídricos en embalses / zonas de riego y generación hidroeléctrica (entre muchos otros resultados específicos). A partir de los balances hídricos calculados por el modelo MAGIC, se calcularon estimaciones de las tasas de recarga que llegan a los sistemas acuíferos de las cuencas y se utilizaron como impulsores de los modelos MODFLOW. El tercer paso consistió en simular el comportamiento de los acuíferos regionales en la CRR. A partir de este paso se obtuvieron los resultados sobre los balances hídricos de los acuíferos y los niveles de las aguas subterráneas para estrategias de gestión específicas.

Las estimaciones de pérdidas y ganancias en la red fluvial de la CRR se utilizaron como un bucle de verificación entre los resultados de MAGIC y MODFLOW para lograr un acuerdo a gran escala entre ambas herramientas de modelado (es decir, cerrar el balance hídrico). Este paso no busca la coincidencia exacta de las cifras, sino acuerdos focalizados en pérdidas y ganancias en el mismo orden de magnitud.

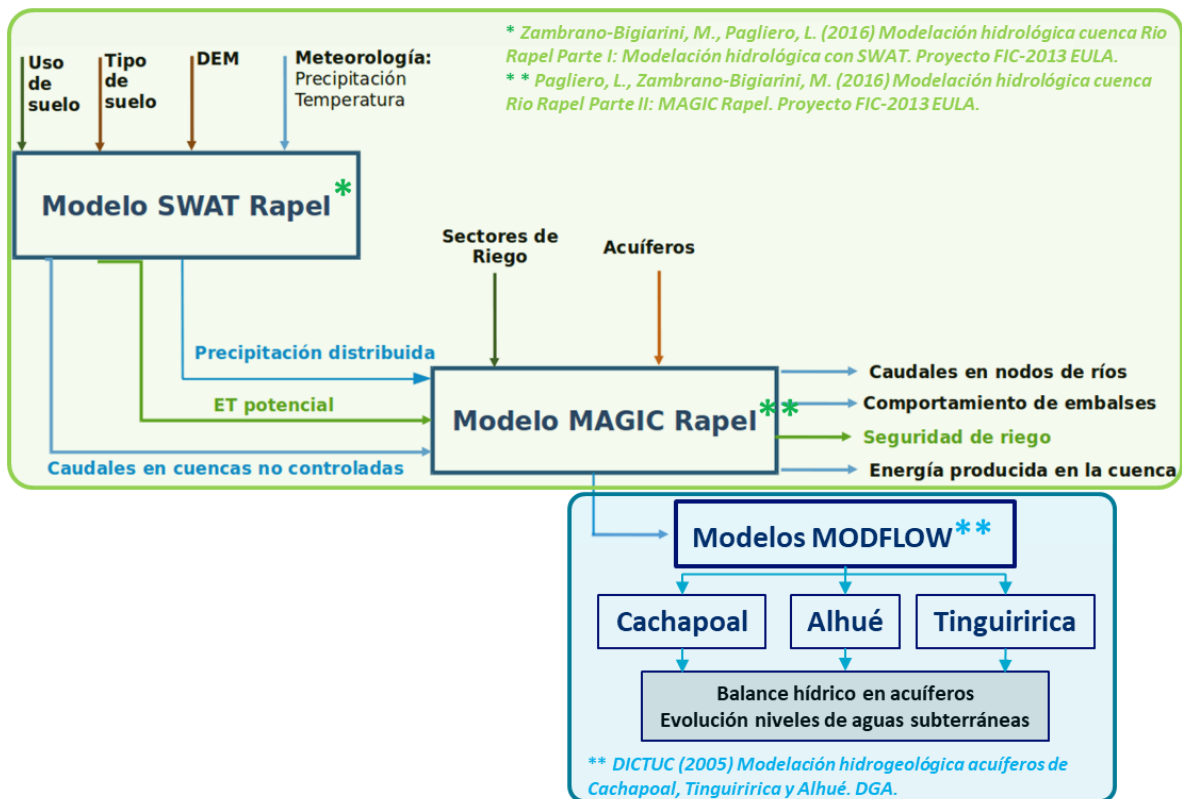


Figura 7. Marco de modelado integrado para la cuenca del río Rapel. El recuadro verde se relaciona con las herramientas de modelado de la gestión de aguas superficiales / aguas, mientras que el recuadro azul se relaciona con el modelado del agua subterránea. Adaptado de Zambrano-Bigiarini y Pagliero (2016).

Modelación hidrológica

El modelado hidrológico para la CRR se implementó utilizando el modelo SWAT versión 2012 (Arnold et al., 1998; 2013; Arnold y Fohrer, 2005; Neitsch et al., 2011). SWAT es un modelo hidrológico semidistribuido con base física que simula el ciclo hidrológico en un paso de tiempo diario para una cuenca determinada (Figura 8). SWAT utiliza datos sobre la topografía de la cuenca (por ejemplo, modelo de elevación digital, DEM), clases de uso de la tierra, tipos de suelo e información hidrometeorológica como datos de entrada. La cuenca en análisis se subdivide en subcuencas, las cuales están conectadas físicamente a través de la red fluvial. Cada subcuenca se subdivide en Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU por sus siglas en inglés), que se definen como combinaciones únicas de uso de la tierra, tipo de suelo y pendiente del terreno. La simulación hidrológica se realiza resolviendo la ecuación del balance hídrico en la cuenca para dos fases diferentes: a) la fase terrestre donde se simula la cantidad de agua, sedimentos, nutrientes y plaguicidas que llegan al canal principal de cada subcuenca; y b) la fase de enrutamiento donde se simula el movimiento de agua, sedimentos y nutrientes a través de la red de canales de la cuenca hasta la salida. SWAT produce descargas en subcuencas no calibradas, precipitación, estimaciones de evapotranspiración potencial entre muchos otros resultados relacionados con sedimentos, nutrientes y pesticidas.

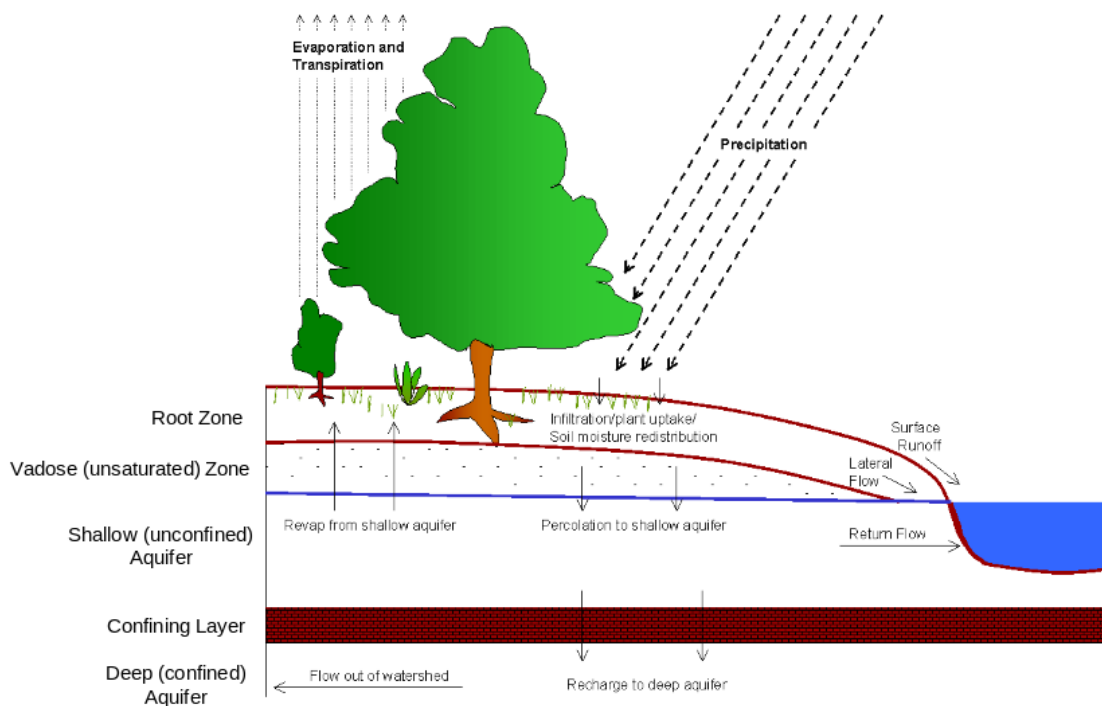


Figura 8. Representación esquemática del ciclo hidrológico en SWAT (Neitsch et al. 2011).

Modelación de la gestión del agua

La evaluación de las estrategias de gestión se implementó utilizando el modelo Modelación Analítica, Genérica e Integrada de Cuencas (MAGIC v2.0) desarrollado por la Dirección General de Aguas (Chile). MAGIC es un modelo de equilibrio hídrico de enlace de nodo que simula la interacción entre zonas de riego, tramos de ríos y acuíferos. MAGIC utiliza información sobre infraestructura hidráulica como red de canales, embalses, represas hidroeléctricas e información relacionada con zonas de riego como tipos de cultivos, demandas de evapotranspiración, métodos y eficiencias de riego, eficiencias de conducción, entre otros. Además, utiliza información sobre las características del acuífero, como las propiedades hidráulicas, los flujos de agua subterránea, las tasas de bombeo y las formas aproximadas del acuífero mediante una serie de geometrías simplificadas.

La identificación espacial de puntos de control específicos (nodos) tales como estaciones de aforo, confluencia de afluentes, ubicación de embalses / centrales hidroeléctricas, aportes de cabeceras y subcuencas intermedias, etc. y sus correspondientes relaciones (enlaces) en la cuenca definen una topología, donde se representa la conectividad espacial y operativa de los nodos identificados en la cuenca. En la Figura 9 se muestra un ejemplo de topología de la subcuenca del río Alhué en la CRR.

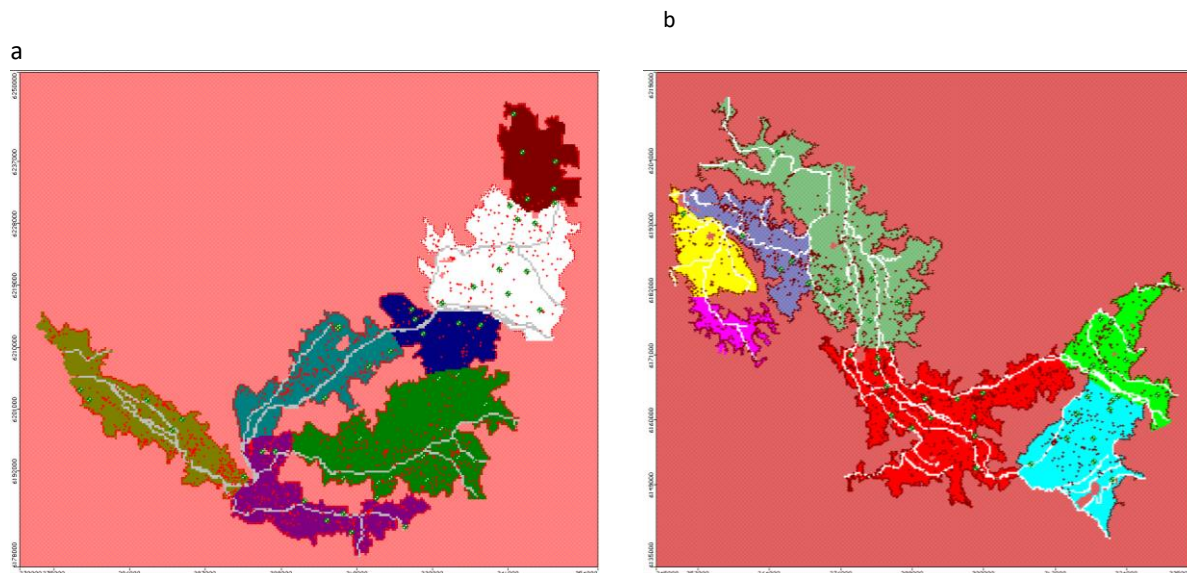


Figura 10. Ejemplo de cuadrícula de modelos MODFLOW para a) Acuífero Cachapual y b) Acuífero Tinguirica. Los polígonos de colores representan las zonas de riego / recarga y la red fluvial, mientras que los puntos rojos representan los pozos de bombeo del catastro oficial de la Dirección General de Aguas para el año 2019.

Configuración de modelación integrada

Las tres herramientas de modelado no fueron recalibradas ni revalidadas en el contexto de este proyecto. Los modelos SWAT y MAGIC fueron recientemente calibrados y validados en el proyecto FIC-2013 liderado por EULA (Zambrano-Bigiarini y Pagliero, 2016; Pagliero y Zambrano-Bigiarini, 2016), mientras que los modelos MODFLOW para los principales acuíferos fueron calibrados para el largo plazo en condiciones de estado estacionario por DICTUC (2005).

El modelado hidrológico SWAT fue el punto de partida para la cadena de modelado. Por lo tanto, se verificó que las estadísticas de desempeño calculadas por Zambrano-Bigiarini y Pagliero (2016) para el período de calibración (1998-2013, como se informó originalmente en su informe) no se vieron afectadas sustancialmente por el modelo integrado desarrollado para el presente proyecto.

Período de simulación y pasos de tiempo

El período de simulación abarcó 38 años y utilizó información desde el 01/01/1979 hasta el 31/12/2016 como información hidrometeorológica de referencia. El modelado hidrológico con SWAT utilizó un paso de tiempo diario, mientras que los modelos MAGIC y MODFLOW se ejecutaron utilizando un paso de tiempo mensual y de 4 meses, respectivamente (Tabla 5).

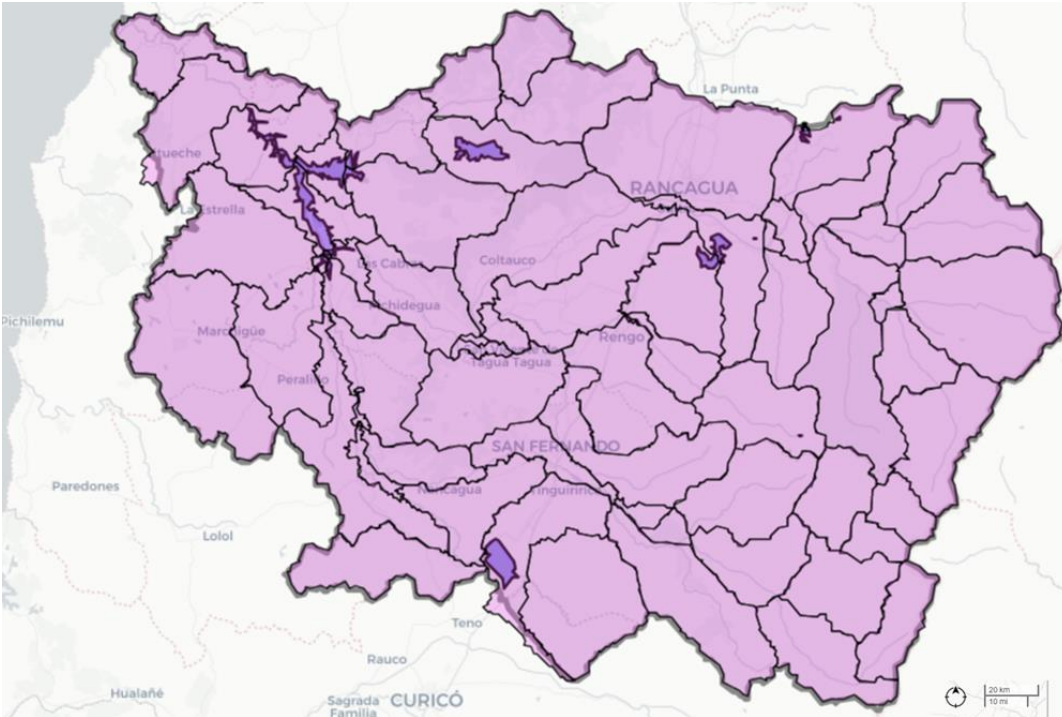
Tabla 5. Pasos de tiempo utilizados para el modelado integrado de SWAT, MAGIC y MODFLOW en el presente proyecto.

Herramienta de modelación	Periodo de simulación y pasos de tiempo
SWAT	Diario = 13880 pasos de tiempo
MAGIC	Mensual = 456 pasos de tiempo
MODFLOW	4 meses = 152 pasos de tiempo

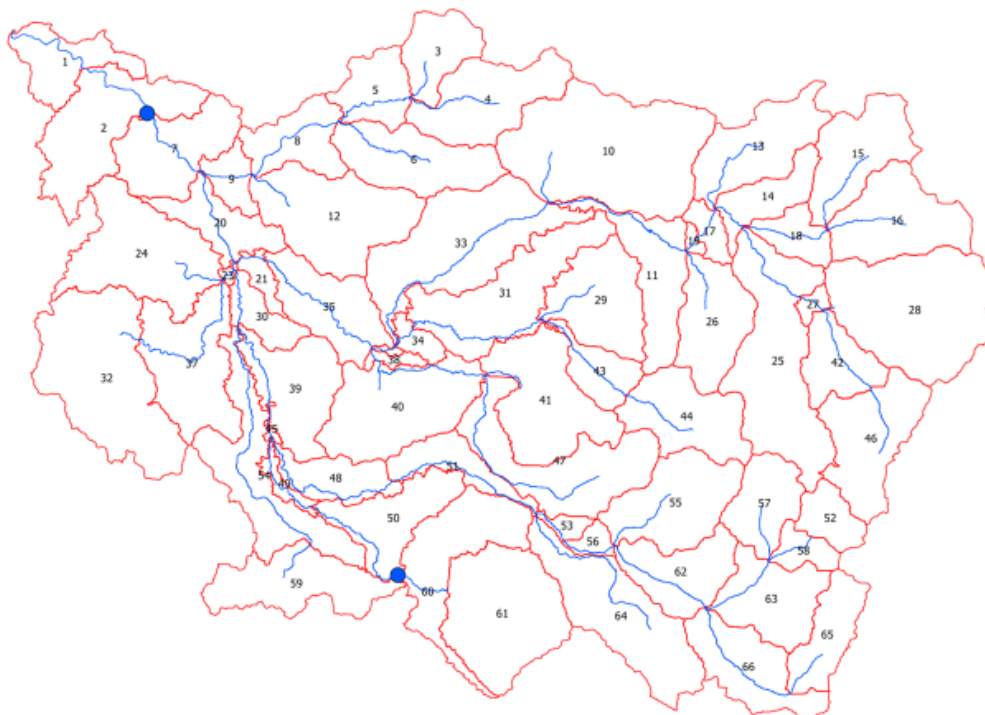
Configuración del modelo SWAT

Datos de entrada:

El modelo SWAT se configuró espacialmente en 66 subcuencas utilizando un DEM de alta resolución (ASTER GDEM v2) de aproximadamente 30 m de resolución horizontal, junto con la red fluvial disponible para la CRR. La Figura 11 muestra la configuración espacial y la numeración de las 66 subcuencas resultantes.



a



b

Figura 11. Configuración espacial de subcuencas y red fluvial simulada en SWAT. Los puntos azules en el panel b) representan los embalses de Rapel y Convento Viejo.

Los datos sobre el tipo de suelo se obtuvieron de Harmonized World Soil Database (HWSD)¹⁸. Esto representa información de vanguardia a escala mundial sobre las propiedades del suelo con una resolución horizontal de aproximadamente 1 km.

Los datos sobre el uso del suelo se obtuvieron del mapa de uso del suelo desarrollado por CONAF en 2005, que contenía 58 usos originales, que posteriormente fueron reclasificados en 15 clases utilizadas por el modelo SWAT para fines de modelado hidrológico.¹⁹

Para forzar el modelado hidrológico para el período de simulación de 38 años (1978-2016), se requieren datos observados sobre precipitación y temperaturas. La mayoría de los modelos hidrológicos utilizan datos puntuales obtenidos de estaciones meteorológicas. En el caso de este proyecto se empleó datos grillados a una resolución horizontal de aproximadamente 5 km obtenidos del Centro de Investigación sobre Clima y Resiliencia (CR2)²⁰. Estos datos fueron manipulados para obtener promedios espaciales diarios para cada una de las 66 subcuencas de precipitación y temperaturas máximas y mínimas.

El modelo SWAT fue parametrizado utilizando la configuración de parámetros obtenida de las corridas de calibración para el período 1998-2013 por Zambrano-Bigiarini y Pagliero (2016). Aunque Zambrano-Bigiarini y Pagliero (2016) no informaron estos valores, se informan aquí a partir de los archivos SWAT correspondientes para la reproducibilidad de los resultados (Tabla 6). Vale la pena enfatizar que, en la mayoría de los casos, estos valores varían espacialmente para cada subcuenca correspondiente definida.

Tabla 6. Rangos de parámetros calibrados del modelo SWAT empleado por Zambrano-Bigiarini y Pagliero (2016).

Parámetro		SWAT-2012	Calibrado
Id	Descripción	Archivo	Rango de valor
CN2	Valor inicial SCS CN II, [-]	*.mgt	[40-83]
SOL_AWC	Capacidad de agua disponible, [mm H2O/mm suelo]	*.sol	n/a
ALPHA_BF	Factor alpha de flujo base, [días]	*.gw	[0.01-1.0]
LAT_TIME	Tiempo de viaje de flujo lateral, [días]	*.hru	[0-180]
CH_K2	Conductividad hidráulica eficaz, [mm/hr]	*.rte	[0-168.75]
CH_N2	El valor “n” de Manning para el canal principal, [-]	*.rte	[0.014-0.09]
SURLAG	Tiempo de retraso de escorrentía superficial, [días]	*.bsn	4
SNO50COV	Proporción de volumen de nieve representada por SNOCOVMX que corresponde al 50% de la cobertura de nieve, [-]	*.bsn	0.442
PLAPS	Tasa de lapso de precipitación, [mm/km]	*.sub	[0-0.047]
TLAPS	Tasa de lapso de temperatura, [_C/km]	*.sub	[-7.5-0]

Configuración del modelo MAGIC

MAGIC define datos sobre 14 objetos para configurar un ejercicio de modelado. Estos objetos son zonas de riego, acuíferos, embalses hidroeléctricos, pozos, canales, subcuencas cabeceras y laterales, vertidos puntuales, caudales ecológicos, topología, vertidos, precipitaciones, entradas de aguas superficiales y sectores urbanos. Cada uno de estos objetos se caracteriza a través de 56 tablas de MS Access 2000 contenidas en un archivo maestro con información relevante para continuar con la simulación.

¹⁸ <http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/>

¹⁹ Para obtener detalles sobre el manejo y la preparación de datos para el modelado hidrológico en SWAT, se remite al lector a Zambrano-Bigiarini y Pagliero (2016) (informe FIC-2016 EULA).

²⁰ <http://www.cr2.cl/datos-productos-grillados/>

De manera similar a la configuración del modelo SWAT, el modelo MAGIC fue configurado y parametrizado utilizando el modelo MAGIC original desarrollado por Pagliero y Zambrano-Bigiarini (2016) para el proyecto EULA FIC-R (2013). Los métodos y la eficiencia de riego, los tipos de cultivos, el área cultivada y la infraestructura hidráulica (redes de canales principales y secundarios) se mantuvieron como en el estudio original. La Figura 12 muestra la ubicación espacial de las zonas de riego consideradas en el proyecto FIC-R EULA (Pagliero y Zambrano-Bigiarini, 2016), mientras que la Tabla 7 muestra un resumen de los métodos y áreas de riego para cada una de las 14 zonas de riego definidas.

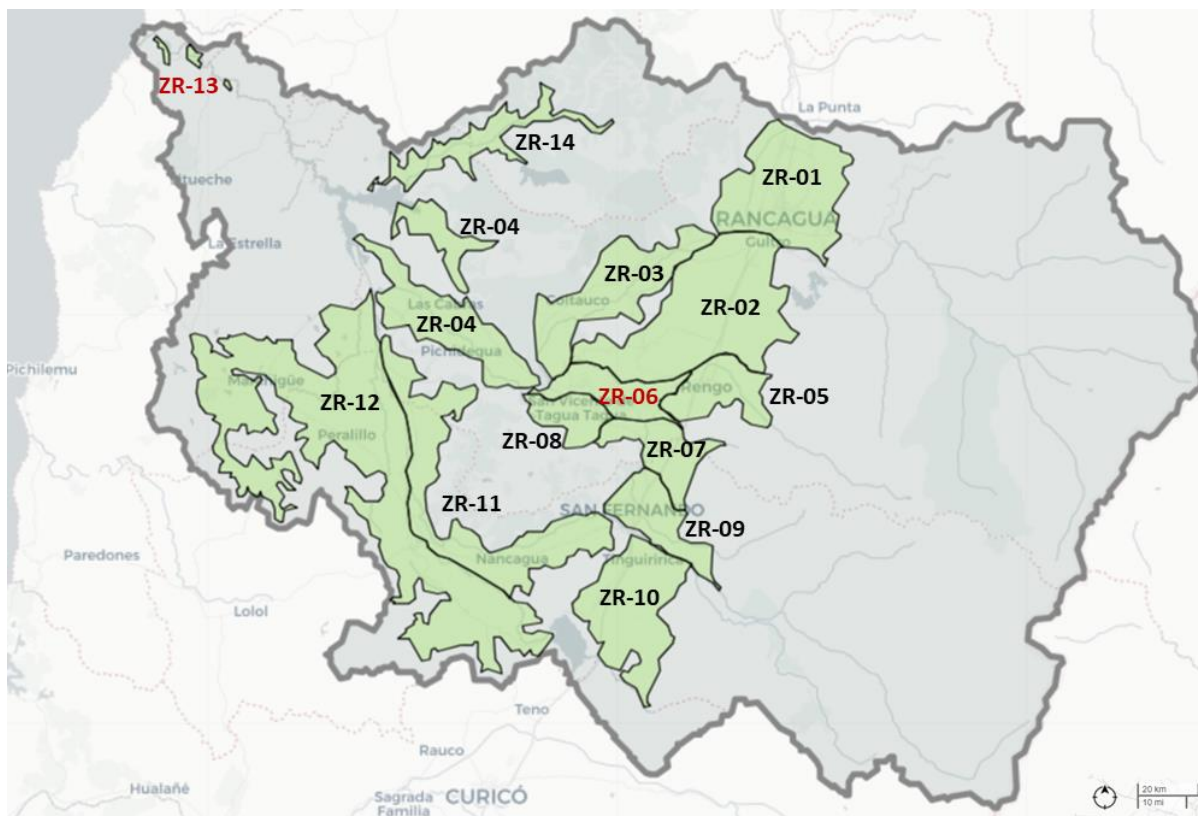


Figura 12. Zonas de riego usados en el modelado MAGIC. Zonas de riego en rojo no consideradas en el análisis (ZR-13) o anexadas a zonas existentes (ZR-06).

Tabla 7. Área para métodos de riego y sus eficiencias correspondientes empleadas en el modelo MAGIC.

	Area ha	Tendido	Surco	Otro tradicional	Aspersión	Pivote	Goteo/cinta	Micro aspersión	Eficiencia Mejorada	Eficiencia ACTUAL	Incremento
ZR-01	27644	6839	13002	526	57	0	6520	700	0,75	0,53	42%
ZR-02	27607	4906	16678	530	29	0	4745	719	0,74	0,51	45%
ZR-03	11269	4017	5074	36	84	0	1828	230	0,74	0,48	53%
ZR-04	18997	2039	8688	414	53	137	6494	1172	0,78	0,61	27%
ZR-05	9111	1261	5811	316	0	0	1569	154	0,74	0,51	44%
ZR-06	5037	815	3124	92	40	0	956	10	0,74	0,51	44%
ZR-07	8072	2328	3850	198	19	0	1436	241	0,74	0,50	49%
ZR-08	5484	987	3290	0	55	0	1152	0	0,74	0,52	43%
ZR-09	6179	2533	2101	62	0	0	1174	309	0,75	0,49	51%
ZR-10	15262	6410	6868	0	0	0	1374	610	0,72	0,44	63%
ZR-11	22843	5884	11568	153	45	0	4983	210	0,75	0,51	45%
ZR-12	43080	8561	18809	154	214	1391	13546	405	0,77	0,58	33%

	Area ha	Tendido	Surco	Otro tradicional	Aspersión	Pivote	Goteo/cinta	Micro aspersión	Eficiencia Mejorada	Eficiencia ACTUAL	Incremento
ZR-13	600	54	342	24	18	0	162	0	0,76	0,56	34%
ZR-14	5863	548	2190	0	0	34	2861	230	0,80	0,67	19%
Total	207.048	47.182	101.395	2.505	614	1.562	48.800	4.990	0,75	0,53	41%

Solo se implementaron dos modificaciones a las zonas de riego. En primer lugar, no se consideró en el análisis la zona de riego ZR-13 ya que estaba en la salida de la cuenca, donde no se diseñaron estrategias para la cuenca, y solo representó el 0.3% del área total regada. En segundo lugar, para efectos de la modelación se anexó la zona original ZR-06 correspondiente al tramo inferior del río Claro a la zona ZR-05, correspondiente al tramo superior del río Claro. Esto significa que, al implementar y modelar estrategias de cuenca, ZR-05 consideró las demandas promedio ponderadas, las eficiencias y las capacidades de conducción de ambas zonas de riego originales (ZR-05 y ZR-06).

La Tabla 7 también incluye valores mejorados de eficiencia de riego en la finca utilizados para evaluar el impacto de invertir en métodos de riego más eficientes. La eficiencia actual del riego en la finca se ubica en el 53%, mientras que se han definido valores mejorados de eficiencia para alcanzar el 75%, con incrementos importantes en las zonas ZR-10 y ZR-09 (Tinguiririca) y ZR-03 (Cachapoal).

La Tabla 8 muestra la eficiencia del transporte de agua en la infraestructura de la red de canales actual. Se puede ver que la eficiencia de conducción es mejor en la subcuenca Cachapoal (82%) en comparación con las subcuencas Tinguiririca (72%) y Alhué (75%).

Tabla 8. Eficiencia de transporte de la red de canales para cada subcuenca principal en la CRR.

Subcuenca	Largo total (km)	Eficiencia ponderada
Cachapoal	273,580	0.82
Tinguiririca	200,770	0.72
Alhué	10,840	0.75

La Tabla 9 y Figura 13 muestran los acuíferos incluidos en las simulaciones MAGIC y explícitamente vinculados a los modelos MODFLOW de las subcuencas Cachapoal, Tinguiririca y Alhué. Se consideraron dos modificaciones para los acuíferos originales: a) los acuíferos AC-19 y AC-18 no fueron incluidos en el análisis por estar ubicados en la salida de la cuenca aguas abajo del embalse Rapel, y b) AC-05 no fue considerado en el modelo original de modelado de aguas subterráneas implementado por DICTUC (2005) y por lo tanto no incluido en este análisis. Los parámetros físicos e hidráulicos de estos acuíferos fueron los mismos que los definidos por Pagliero y Zambrano-Bigiarini (2016) para el proyecto FIC-R EULA.

Tabla 9. Equivalencia de acuíferos MAGIC y MODFLOW.

Sector	MAGIC (sub-acuíferos)	MODFLOW
Cachapoal	AC-01, AC-02, AC-03, AC-04, AC-06, AC-07	Cachapoal aquifer
Tinguiririca	AC-11, AC-12, AC-13, AC-14, AC-15, AC-16, AC-17	Tinguiririca aquifer
Alhué	AC-08, AC-09, AC-10	Alhué aquifer

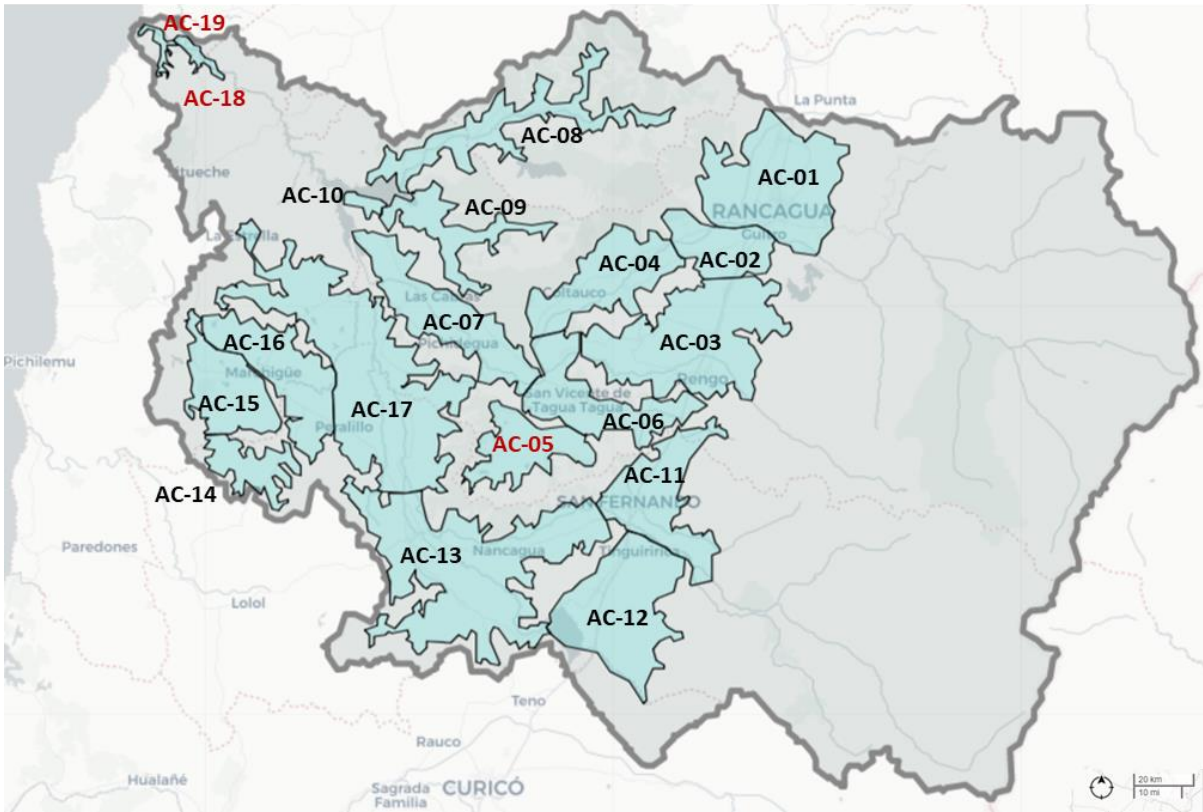


Figura 13. Identificadores de acuíferos utilizados en el modelado MAGIC. Acuíferos en rojo no incluidos en el análisis.

En la Figura 14 se muestran los embalses utilizados por Pagliero y Zambrano-Bigiarini (2016) para el proyecto FIC-R EULA (Rapel, Convento Viejo y Sauzal) y los agregados en este proyecto para evaluar el valor de la nueva infraestructura de almacenamiento en la CRR. Los nuevos embalses considerados se describen en la Tabla 10. Se puede ver que los nuevos embalses considerados (Las Cayanas, Bollenar y Río Claro en Tinguiririca) son principalmente para soporte de zonas de riego y con volúmenes operacionales máximos entre 25 y 28 Mm³.



Figura 14. Embalses incluidos en el modelo MAGIC. Nuevos embalses considerados en evaluación de estrategias en rojo: Las Cayanas en la subcuenca Cachapoal; Bollenar en la subcuenca del Río Claro de Rengo y Río Claro en la subcuenca de Tinguiririca.

Tabla 10. Características de los embalses incluidos en el modelo MAGIC.

Embalse	Almacenamiento máximo [Mm ³]	Almacenamiento muerto [Mm ³]	Uso principal	Demanda principal de riego
Rapel	695.7	92	Hidroeléctrica	
Convento Viejo	237	30	Riego	ZR-12
Sauzal	1.28	0	Hidroeléctrica	
Las Cayanas	30	5	Riego	ZR-1, ZR-02, ZR-03
Bollenar	33	5	Riego	ZR-05, ZR-06
Río Claro (Tinguiririca)	33	5	Riego	ZR-07, ZR-09, ZR-10

Configuración modelo MODFLOW

El balance de las aguas subterráneas y las interacciones con los modelos de aguas superficiales (SWAT y MAGIC) se evaluó utilizando tres modelos hidrogeológicos disponibles para los acuíferos Cachapoal, Tinguiririca y Alhué desarrollados por DICTUC (2005). La Figura 7 muestra el vínculo entre SWAT-MAGIC y los modelos MODFLOW, que se obtiene a través de estimaciones de las tasas de recarga del sistema de aguas superficiales como principales insumos a los acuíferos regionales.

DICTUC (2005) describió estos estudios en detalle y, por lo tanto, esta descripción no se repetirá aquí. Los tres modelos MODFLOW fueron calibrados para condiciones de estado estables para el período 1960-1985, donde se observó un bombeo mínimo de agua subterránea en la cuenca. Las condiciones de contorno, las propiedades hidráulicas de los acuíferos (conductividad hidráulica, capacidad de almacenamiento), la configuración de la red, etc., se mantuvieron como en el informe original. Los períodos de estrés se

redefinieron como 4 meses y la extracción de agua subterránea se actualizó para reflejar la información más actualizada de la Dirección General de Aguas.

La Tabla 11 muestra los valores de las tasas de extracción de agua subterránea para este análisis, que corresponden al último catastro de pozos disponible de la Dirección General de Aguas hasta el 31-12-2019. Estas tasas de extracción son iguales al derecho de agua otorgado, multiplicado por un factor de uso de agua correspondiente para obtener el uso probable de agua subterránea.

Tabla 11. Uso probable de agua subterránea en m³/s para los principales estudios desarrollados en la CRR. CSIRO (2021) corresponde al presente proyecto y representa la estimación obtenida del último catastro de pozos disponible de la DGA hasta el 31-12-2019.

Acuífero	DICTUC (2005)	EULA (2013)	CSIRO (2021)
Alhué	0.97	0.95	1.08
Cachapoal	6.76	7.75	9.54
Tinguiririca	4.62	7.18	9.15

3.5.2 Estrategias hídricas e indicadores de impacto

Como se mencionó, SimRapel permite la exploración de estrategias hídricas relevantes para la CRR, con el objetivo de lograr la visión compartida de la cuenca. Para esto, este proceso consideró un levantamiento de información y prioridades respecto a posibles estrategias por parte de los actores clave para luego su implementación y evaluación en SimRapel.

Levantamiento de estrategias

El levantamiento de estrategias fue un proceso iterativo con diferentes grados de interacción con los actores. En primer lugar, se realizó un taller amplio donde participaron 26 diferentes instituciones de los sectores público, privado, sociedad civil y académico/centros de investigación, relacionados con la gestión de recursos hídricos de la CRR. Durante el taller se realizó un ejercicio participativo con los asistentes para comenzar el levantamiento de ideas sobre estrategias hídricas que pueden abordar los elementos de la visión de la cuenca. Los asistentes fueron divididos en grupos multisectoriales y asignados a una dimensión de la visión: a) disponibilidad del agua; b) uso del agua; c) institucionalidad; d) medioambiente; y e) sociedad. Cada grupo tuvo que levantar ideas sobre posibles estrategias que permitan avanzar en uno o más elementos de la dimensión asignada. Finalmente, un representante de cada grupo presentó el alcance de la estrategia desarrollada por su grupo.

Las estrategias propuestas y discutidas por cada grupo fueron asociadas a: el desarrollo de modelos predictivos del agua; el entendimiento del balance hídrico de la cuenca; al ordenamiento de la institucionalidad; a planes de educación; y a la extracción de áridos en los cauces. El ejercicio permitió a grupos de diversos actores discutir y compartir ideas sobre desafíos hídricos y potenciales oportunidades, que permitan ir fortaleciendo el entendimiento de los problemas y enriqueciendo sus soluciones.

Sin embargo, algunas de las estrategias propuestas se encontraron fuera del alcance de la capacidad de SimRapel. Por esta razón en una segunda instancia de trabajo, esta vez con el GA, se especificó mejor el alcance de la modelación que puede considerar intervenciones físicas en la cuenca, con ejemplos concretos. Durante esta reunión de trabajo, se dividió en grupos de 2 a 3 personas para discutir las posibles estrategias que son prioritarias para los actores para ser simuladas en SimRapel. Cada grupo tuvo que rellenar una ficha con las estrategias propuestas y una descripción de sus posibles ventajas y desventajas, además de los potenciales indicadores de impacto para medir la estrategia una vez implementada. Finalmente, en una

sesión plenaria, cada grupo presentó sus estrategias prioritarias y se realizó una discusión amplia. A continuación, se presentan las estrategias propuestas:

- Acuerdo de gestión hídrica entre Enel, Codepra y FJVSR
- Eficiencia de riego
- Conocer los volúmenes disponibles y los intervalos de disponibilidad de agua
- Implementación del embalse Bollenar
- Proyecto Riego Marchigüe (traspaso de agua desde el embalse Convento Viejo a Marchigüe)
- Implementación del embalse Las Cayanas en Cachapoal para multiuso
- Aprovechamiento de pozos profundos existentes para uso colectivo
- Trasvases entre ríos y embalses
- Plataforma de información (fuera del alcance de este proyecto)
- Almacenamiento a pequeña y mediana escala en toda la cuenca (piscinas y recarga de acuíferos gestionada)
- Implementar un caudal ecológico en la cuenca
- Gestión de recarga de acuíferos para el beneficio colectivo a través de los canales

Luego, estas estrategias fueron agrupadas en 6 grupos de estrategias:

- I. Acuerdos de gestión
- II. Eficiencia de riego
- III. Nuevos embalses
- IV. Proyecto Riego Marchigüe
- V. Recarga de Acuíferos Gestionada (RAG)
- VI. Aprovechamiento de pozos profundos

En la siguiente reunión con el GA, se presentó los resultados y se priorizó la implementación de las siguientes estrategias en SimRapel:

1. Construcción de 3 nuevos embalses en Las Cayanas, Bollenar y Rio Claro (Tinguiririca).
2. Implementación de RAG utilizando diferentes técnicas y en diferentes partes de la cuenca.
3. Mejoras en la eficiencia de riego intrapredial.

Estas estrategias fueron priorizadas en base al nivel de información disponible, el grado de dificultad de implementación en SimRapel y la priorización general por los actores.

Para la evaluación de estas estrategias se determinó una serie de indicadores de impacto que permiten medir y comparar el resultado de cada estrategia a nivel de cuenca. Esto permite a los diferentes actores visualizar cómo influyen la implementación de cada estrategia en diferentes sectores físicos y socioeconómicos de manera integrada. Se definieron los siguientes 8 indicadores de impacto a nivel de cuenca:

- I. Recarga Total Acuífero Cachapoal
- II. Recarga Total Acuífero Tinguiririca
- III. Energía producida en la cuenca Rapel (centrales de pasada)
- IV. Cota espejo de agua Embalse Rapel
- V. Tasa de cambio (espacial) nivel freático Alhué

- VI. Tasa de cambio (espacial) nivel freático Cachapoal
- VII. Tasa de cambio (espacial) nivel freático Tinguiririca
- VIII. Eficiencia hídrica de la cuenca (salidas/entradas)

Implementación de escenarios en SimRapel

A partir de las tres estrategias hídricas priorizadas por los actores y mencionadas previamente, se determinó 16 escenarios que fueron implementados en SimRapel para su evaluación. Estos 16 escenarios contemplan combinaciones de las siguientes condiciones:

1. **Condiciones hidrológicas históricas** definidas utilizando el período de observación 1979-2016 para la precipitación y las temperaturas obtenidas de los productos grillados del CR2²¹. Esta estrategia definió la línea base para la evaluación;
 - 1.1 **Tendencia del cambio climático** en base a proyecciones que estiman una reducción del 20% en las precipitaciones observadas y un aumento de 2.5 °C en las temperaturas (Rojas et al., 2020). Éstos corresponden al peor escenario para mediados y finales del siglo XXI bajo trayectorias de emisión proyectadas. Estos cambios se aplicaron en las series de tiempo de observación obtenidas del CR2 y se utilizaron para impulsar la cadena de modelado (SWAT-MAGIC-MODFLOW). Se reconoce la existencia de proyecciones climáticas a escala diaria para distintos escenarios de emisión para la región de O'Higgins efectuadas por el CR2, sin embargo, estas no fueron consideradas ya que dicho organismo reporta inconsistencias en los valores proyectados para las precipitaciones en la zona cordillerana de la zona central de Chile. De esta manera se optó por usar las tendencias medias de reducción en las precipitaciones y aumento de las temperaturas;
2. **Mejoras en la eficiencia del riego intrapredial**. Actualmente, la eficiencia del riego intrapredial se ubica en el 53% debido al uso generalizado de técnicas ineficientes de aplicación de agua (ver Tabla 7). Esta estrategia considera aumentar la eficiencia del riego dentro de la finca en toda la cuenca para alcanzar un valor del 75%, con importantes mejoras previstas para las subcuencas de Tinguiririca y Cachapoal. Esta estrategia se implementó modificando la base de datos en MAGIC que contiene la información sobre eficiencia de los métodos de riego;
3. **Construcción de tres embalses** en Las Cayanas, Bollenar y Rio Claro (Tinguiririca). La capacidad de almacenamiento oscila entre 30 y 33 Mm³, siendo la principal demanda asociada a los nodos de riego en MAGIC. Esta estrategia se implementó modificando la topología MAGIC original para incluir tres embalses y vincularlos con demandas específicas de riego;
4. **Implementación de la Recarga de Acuíferos Gestionada (RAG)** en las siguientes subestrategias:
 - 4.1. Operación de la red de canales de toda la cuenca durante los meses de invierno al 75% de la capacidad máxima. Esto se implementa con el fin de mejorar la infiltración de agua a través de pérdidas de transporte durante períodos de altos caudales y bajas demandas. Para la implementación de la subestrategia 4.1, se consideró la demanda de las zonas de riego durante los meses de invierno como diferente a cero (es decir, operar MAGIC bajo la opción de demanda en lugar de capacidad). En la práctica, durante los meses de invierno no hay demanda de cultivos de regadío. Por lo tanto, se forzó el modelo MAGIC para tener en cuenta el agua adicional permitida en la red de canales combinando las demandas de invierno (RAG) y de verano (riego) en una base de datos de demanda neta mensual. Se implementó el siguiente procedimiento: a) se identificó la capacidad de

²¹ <http://www.cr2.cl/>

cada canal a partir de las bases de datos MAGIC; b) las capacidades se agregaron por zona de riego; c) cada capacidad agregada se multiplicó por 0,75 para dar cuenta de un máximo del 75% de la capacidad de la red de canales durante los meses de invierno; d) utilizando una tasa de aplicación promedio de 1 l/s/ha, el volumen máximo mensual de las capacidades agregadas de los canales y el área para las zonas de riego, las descargas máximas de RAG se convirtieron a mm/mes expresadas como demanda neta mensual para el invierno; e) las estimaciones de la demanda de invierno (RAG) se combinaron con la demanda real de verano (riego) por cultivos en una base de datos. Un resultado de este procedimiento es que el desempeño de las zonas de riego (por ejemplo, demanda abastecida, seguridad de riego, etc.) considerando la implementación de la estrategia 4 no puede compararse con estrategias que no incluyen RAG;

4.2. Incrementar las tasas de infiltración en tramos de ríos ubicados en: sectores El Olivar, Rengo, San Fernando y Palmilla-Peralillo. Esto se implementa mejorando las tasas de infiltración en un 20% en la red fluvial o de drenaje definida en MAGIC. Vale la pena enfatizar que el modelo MAGIC original no incluía información sobre la infiltración del río para la mayoría de los tramos de los ríos y, como tal, era necesario implementarlo para tener en cuenta los aumentos en las tasas de infiltración;

4.3. Implementación de un pequeño estudio de caso piloto en el Doñihue donde se espera que estén disponibles 100 l/s para la recarga del acuífero durante los meses de invierno utilizando dos estanques de infiltración (25 m x 50 m). Esto se implementa como una toma de agua puntual que elimina 100 l/s en el nodo aguas arriba de Doñihue en MAGIC, y considerando dos celdas de rejilla (300 m x 300 m) que dan cuenta de las tasas de recarga adicionales en MODFLOW.

Para la estrategia 4 (implementación de RAG) las tres subestrategias (4.1, 4.2, 4.3) individuales no se analizaron por separado, pero fueron implementadas simultáneamente.

En general, se consideraron escenarios alternativos activando o desactivando todas las combinaciones potenciales que terminaron en la definición de los 16 escenarios que se describen en la Tabla 12.

Tabla 12. Escenarios analizados en el Proyecto SimRapel.

Escenarios	Descripción
1	Hidrología histórica + condiciones de riego 2013 (53%)
2	Tendencia de cambio climático + condiciones de riego 2013 (53%)
3	Hidrología histórica + eficiencia de riego mejorada (75%)
4	Tendencia de cambio climático + eficiencia de riego mejorada (75%)
5	Hidrología histórica + condiciones de riego 2013 (53%) + embalses (Bollenar - Las Cayanas - Río Claro)
6	Tendencia de cambio climático + condiciones de riego 2013 (53%) + embalses (Bollenar - Las Cayanas - Río Claro)
7	Hidrología histórica + eficiencia de riego mejorada (75%) + embalses (Bollenar - Las Cayanas - Río Claro)
8	Tendencia de cambio climático + eficiencia de riego mejorada (75%) + embalses (Bollenar - Las Cayanas - Río Claro)
9	Hidrología histórica + condiciones de riego 2013 (53%) + RAG
10	Tendencia de cambio climático + condiciones de riego 2013 (53%) + RAG
11	Hidrología histórica + eficiencia de riego mejorada (75%) + RAG
12	Tendencia de cambio climático + eficiencia de riego mejorada (75%) + RAG
13	Hidrología histórica + condiciones de riego 2013 (53%) + embalses (Bollenar - Las Cayanas - Río Claro) + RAG
14	Tendencia de cambio climático + condiciones de riego 2013 (53%) + embalses (Bollenar - Las Cayanas - Río Claro) + RAG

Escenarios	Descripción
15	Hidrología histórica + eficiencia de riego mejorada (75%) + embalses (Bollenar - Las Cayanas - Rio Claro) + RAG
16	Tendencia de cambio climático + eficiencia de riego mejorada (75%) + embalses (Bollenar - Las Cayanas - Rio Claro) + RAG

3.6 Gobernanza de recursos hídricos

Las 'crisis del agua' y las "crisis del suministro de agua" se han clasificado constantemente entre los cinco riesgos globales más altos desde 2012 (World Economic Forum, 2019) y la comunidad internacional se adhiere en general a la declaración de la Asociación Mundial del Agua²² de que "la crisis del agua es a menudo una crisis de gobernanza" (GWP, 2000; OCDE, 2011). La gobernanza de los recursos hídricos puede ser interpretada en diferentes formas, pero una definición ampliamente utilizada proviene de la OCDE (2015):

"Conjunto de reglas, prácticas y procesos políticos, institucionales y administrativos (formales e informales) mediante los cuales: se toman e implementan decisiones, los actores presentan sus intereses y preocupaciones, y los tomadores de decisión rinden cuentas por la gestión del agua".

La literatura internacional sugiere que la falla en la gobernanza del agua en múltiples niveles ha desencadenado muchos de los problemas relacionados con el agua, tanto como el propio recurso, amenazando así la seguridad hídrica (Pahl-Wostl, 2017). Por otra parte, sugiere que la gobernanza del agua se basa principalmente en hipótesis ideológicas sobre cómo se deben gestionar los recursos hídricos, en lugar de una comprensión profunda de cómo debería funcionar en la práctica (Zwarteveen et al., 2017).

Más allá del debate académico, una gobernanza de recursos hídricos como una condición necesaria para la GIRH se ha consolidado como una práctica necesaria para la gestión eficiente del recurso hídrico en la agenda a nivel global. Prueba de ello son la Agenda 2030 a la que suscriben los países del Sistema de las Naciones Unidas. A pesar de ello, existe una amplia literatura respecto a los medios de implementación, condiciones, limitantes y factores de éxito de estos procesos.

En años recientes, el concepto de *Collaborative Water Governance* o Gobernanza Colaborativa del Agua (GCA), que se basa en enfoques formales de gobernanza colaborativa (ej. Ansell et al., 2008; Emerson et al., 2012), se ha consolidado como una respuesta prometedora para los desafíos de la gestión del agua (Holley, 2015; Harrington, 2017). Entendemos CWG como una combinación de colaboración (es decir, cooperación entre las partes interesadas para lograr objetivos comunes) y la gobernanza del agua, y por lo tanto como un intento de "operacionalizar" la gobernanza del agua en la práctica. Bajo este concepto, las partes interesadas son alentadas a compartir la responsabilidad y contribuir más ampliamente a la gestión de los recursos hídricos en todos los niveles, adoptando procesos ascendentes de colaboración e intercambio de conocimientos (por ejemplo, Marín et al., 2010). Estos procesos deben tener en cuenta los principios locales de conocimiento, inclusión y transparencia (GWP, 2000; Connick & Innes, 2003; Sabatier et al, 2005; Butterworth et al., 2010), y, por lo tanto, debe estar respaldado por procesos participativos que faciliten la colaboración para construir consenso en torno a una visión compartida (resultado) para la planificación futura del agua (por ejemplo, Moriarty et al., 2010).

²² *Global Water Partnership* en inglés.

Este trabajo combinó técnicas de análisis de *stakeholders* (SA); análisis de redes sociales (SNA); y procesos participativos bajo un marco de gobernanza colaborativa para promover la Gobernanza Colaborativa del Agua en la CRR.

La necesidad de avanzar en la gobernanza del agua en la CRR fue evidente durante la primera etapa del proyecto durante el proceso para levantar herramientas de gestión hídrica para la cuenca, las cuáles, una vez desarrolladas, apoyarán a los actores a avanzar en lograr la visión compartida de la cuenca desarrollada durante este mismo proceso. Durante las sesiones participativas con el GA, fue aparente que falta una institución que pueda hacerse cargo de una o más de las herramientas propuestas. En efecto, no hubo una institución que podría poner los recursos financieros y humanos para operar y mantener las herramientas en el tiempo. Sin una institución que permita la coordinación y la transferencia de conocimiento e información, resulta difícil avanzar en la aplicación de estas herramientas. Por esta razón, en conjunto con el GA se decidió que, en paralelo con el desarrollo de nuevas herramientas, es fundamental avanzar en un modelo de gobernanza del agua para la cuenca.

En esta sección se describe el proceso para la formulación de una propuesta de gobernanza de los recursos hídricos para la CRR, lo que fue apoyado por unos expertos externos en el tema.²³ Para ello se avanza desde elementos conceptuales a una propuesta ajustada a la realidad del territorio: conceptualización de la gobernanza de recursos hídricos; experiencias comparadas de modelos de gobernanza; principios de diseño de gobernanza; alternativas de gobernanza posibles; y finalmente, el proceso de desarrollo de la gobernanza y su validación.

3.6.1 Desarrollo de propuesta de gobernanza para la CRR

Los aspectos mencionados en esta sección, además de los análisis de actores realizados y el proceso de desarrollo de la herramienta SimRapel fueron insumos clave en el desarrollo de una propuesta de gobernanza para la CRR. Sin embargo, fue el proceso de colaboración con los actores relevantes que permitió diseñar una gobernanza apropiada y legítima para la cuenca. Este diseño fue un proceso iterativo que se realizó durante 9 meses.

En primer lugar, se presentó los resultados de los diferentes análisis en las sesiones de trabajo con el GA, incluida la revisión de experiencias de modelos de gobernanza. Esto permitió una rica discusión sobre los beneficios y desafíos de las diferentes experiencias y cómo éstas aplican al caso de Chile y a la CRR. En revisión de las alternativas de gobernanza, se generó una propuesta preliminar para la CRR que contempló la estructura y sus principales características. La propuesta fue discutida y se tomó como base para comenzar a armar un modelo propio y acordado entre todos los miembros del GA. Se enfatizó que el modelo propuesto debería jugar un rol crucial para incorporar la representatividad de los diferentes actores de la cuenca. Plantea una planificación de mediano y largo plazo, tomando en cuenta las necesidades de actores locales, resultados y consejo de las diferentes mesas o iniciativas relevantes de la región. El enfoque propuesto fue una gobernanza mixta que incorpora una gestión top-down y bottom-up (desde arriba hacia abajo y desde abajo hacia arriba), similar al modelo de Francia revisado.

En la misma sesión de trabajo con el GA se realizó una discusión amplia sobre las reglas de operación de la gobernanza preferidas por los actores y se entregó una encuesta con preguntas específicas acerca de las características que conformarán la gobernanza en discusión. La idea fue que cada participante pueda

²³ Borradores del análisis comparativo de jurisdicciones, los principios de diseño y las alternativas de gobernanza fueron informados por Cameron Holley, Darren Sinclair y Carley Bartlett, expertos externos del proyecto.

reflexionar las preguntas y responderlas para poder proponer un modelo de gobernanza actualizado en la siguiente reunión, incorporando las diferentes perspectivas del GA.

La encuesta contempló 8 preguntas abiertas. En cada pregunta se proporcionó una breve descripción y, donde relevante, unos ejemplos de respuestas. Las preguntas realizadas fueron:

1. ¿Quiénes deberían formar parte del Comité de Cuenca?
2. ¿Qué tipo de compromiso se requiere para participar en el Comité? (ej. voluntario, formal, vinculante).
3. ¿Cómo se coordina o lidera?
4. ¿Cómo se toman decisiones?
5. ¿Qué tiempo de planificación se requiere?
6. ¿Qué recursos se requieren?
7. ¿Cómo se financia?
8. ¿Qué otras consideraciones hay que definir?

Los resultados de la encuesta fueron recopilados y analizados para ser presentados en la siguiente reunión con el GA. Respondieron 10 de 16 instituciones participantes en el GA. En esta reunión se presentó una nueva versión del modelo de gobernanza en donde se aplican los resultados de la encuesta, además de las ideas planteadas y discutidas en la sesión anterior.

En función de lo discutido con el GA se generó la propuesta borrador de gobernanza para la CRR, un documento de 10 páginas que resume los antecedentes y proceso, y propone los siguientes 5 elementos clave de la gobernanza: i) estructura organizacional; ii) roles y funciones; iii) reglas de operación; iv) recursos requeridos; v) desarrollo de unos estatutos del Comité de Cuenca. Este documento fue compartido con todos los miembros del GA a través de correo electrónico, fomentando la contribución de cada actor en su mejora. Se recibió 11 respuestas de instituciones participantes en el GA, las que fueron incorporadas donde posible en la mejora del documento. También se realizó otra sesión de trabajo del GA para discutir el documento en conjunto y responder/resolver las principales dudas planteadas.

La principal duda pendiente por parte del GA fue acerca de cuál es la figura legal más apropiada para implementar el Comité de Cuenca. La opinión de la mayoría de las participantes fue que debería ser una figura independiente y no sujeta a una entidad en particular (por ejemplo, el gobierno o un privado), y así evitar la influencia de cambios en personal o de prioridades personales sobre el Comité de Cuenca. Si bien hubo interés en alojar el Comité de Cuenca dentro de la Corporación del Libertador²⁴, desde una perspectiva legal y operacional se determinó que no es una buena opción en el mediano-largo plazo. De este modo, se planteó la creación de una nueva Corporación sin fines de lucro para dar sustento legal y una proyección de largo plazo al Comité de Cuenca propuesta. Dado que se requiere un compromiso inicial muy importante por parte de los diversos actores que formarán parte de la Corporación (sector público, privado y de sociedad civil), se propuso la opción de un periodo de transición durante 1 a 2 años que permita ejercitar al Comité de Cuenca bajo un esquema de una Corporación, sin los requerimientos de una entidad legalmente formalizada. De este modo, permitirá a sus miembros evaluar y ajustar el alcance del Comité de Cuenca durante un periodo transitorio para una institucionalidad más estable y permanente en el tiempo, y así reducir el riesgo de falla. La propuesta de gobernanza actualizada y un documento de *reglamento transitorio*²⁵ fueron

²⁴ Corporación público-privado que promueve el desarrollo productivo que fomenta la generación y desarrollo de proyectos de investigación, innovación y transferencia tecnológica en la región. <https://corporaciondellibertador.cl/wp0001/>

²⁵ Documento fue preparado por un abogado externo contratado para el proyecto.

enviados a los miembros del GA para su revisión y se realizó una nueva sesión de trabajo para su presentación y discusión. En esta sesión de trabajo también se presentó los próximos pasos requeridos para la transición hacia una Corporación. Después de la sesión se preparó un breve documento (1 página) que resume las reflexiones sobre el alcance del Comité de Cuenca, para responder a algunas dudas que el GA mantuvo.

Para la validación de la propuesta de gobernanza y el reglamento transitorio (presentados en la Sección 4.4 de resultados), se realizó una encuesta con el GA a través de un formulario digital *Google Forms*. La encuesta fue respondida por 13 de las 16 instituciones participantes en el GA. Se consideraron para la encuesta las siguientes preguntas:

- 1) ¿Estás de acuerdo en términos generales con lo expresado en el documento de reflexiones sobre el alcance del Comité de Cuenca?
- 2) ¿Estás de acuerdo con la eventual creación de una nueva Corporación sin fines de lucro para formalizar el Comité de Cuenca?
- 3) ¿Estás de acuerdo con poner a prueba, por un período de hasta dos años, el Comité de Cuenca antes de la creación de una Corporación?
- 4) Si tu respuesta a la pregunta anterior fue positiva, ¿estás de acuerdo en términos generales con el Reglamento Transitorio presentado?

3.6.2 Experiencias de modelos de gobernanza

Para los propósitos de este estudio, se ha seleccionado siete jurisdicciones comparativas que brindan ejemplos de diferentes enfoques participativos de gobernanza del agua. Ellos son: i) Chile, ii) Nueva Gales del Sur (Australia), iii) California y iv) Arizona (Estados Unidos), v) Francia, vi) Nueva Zelanda y vii) Brasil.

Por supuesto, existen muchos sistemas participativos de gobernanza del agua a nivel internacional, regional, nacional y subnacional que han evolucionado para hacer frente a enormes desafíos de gobernanza del agua. Algunos de estos son recientes (por ejemplo, la Ley de Gestión Sostenible de Aguas Subterráneas de California (SGMA)), mientras que otros han evolucionado durante años de suscripción al desarrollo sostenible, la GIRH, los derechos y los mercados del agua²⁶. Muchos de estos enfoques han tenido problemas con una implementación deficiente, un énfasis continuo en facilitar soluciones dirigidas por expertos e impulsadas por la tecnología, a menudo con la exclusión de las partes interesadas y los pueblos indígenas, y barreras para la integración de la energía y otras políticas (Biwas y Tortajada, 2010; Mukhtarov y Gerlak, 2014; Araral y Wang, 2013; Cosens et al., 2014; Pittock et al., 2015; Holley y Sinclair, 2018). Muchos de los problemas anteriores han sido reconocidos y lo que ha surgido es una especie de proceso "experimental", donde la crítica y la revisión son una característica de los desarrollos en evolución de la gobernanza del agua (De Burca, et al., 2014). En efecto, esto ha dado lugar a "laboratorios vivos" de la legislación y la gobernanza del agua en todo el mundo que representan experimentos vividos y en tiempo real sobre lo que funciona y lo que no (Pahl-Wostl, 2015). Teniendo en cuenta este contexto y el propósito de este estudio, las siete jurisdicciones fueron seleccionadas para captar líderes reconocidos en la reforma del agua (por ejemplo, Australia, Francia y Estados Unidos), así como la variación en los modelos participativos de gobernanza del agua, incluyendo:

²⁶ Véanse también los principios generales, por ejemplo, Reglas de Helsinki de 1966; Reglas de Berlín de 2004; Convención sobre el derecho de los usos de los cursos de agua internacionales para fines distintos de la navegación de 1997; Artículos de la Coalición sobre acuíferos transfronterizos de 2008; y otros enfoques relacionados en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

- Diferentes contextos geográficos e hidrológicos (por ejemplo, naciones ricas y con escasez de agua; las Américas, Europa y Oceanía).
- Madurez (por ejemplo, de los más de 25 años de reformas del agua de Australia; la combinación de Francia de planificación madura del agua y la implementación más reciente de la Directiva Marco del Agua; la reciente SGMA de California).
- Combinaciones de políticas de agua: diferentes combinaciones de diseños de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba, planificación impulsada por la comunidad, gestión integrada del agua, mercados, derechos individuales y colectivos.

La Tabla 13 sintetiza las principales fortalezas y debilidades de los modelos de gobernanza analizados, para un análisis en mayor profundidad de cada jurisdicción, ver el Anexo B.2.

Tabla 13. Fortalezas y debilidades de los casos de gobernanza revisados (elaboración propia).

Jurisdicción	Visión general	Fortalezas	Debilidades
Chile	Mecanismo basado en el mercado que separa el título de propiedad de las aguas del título de propiedad de las tierras, basado en los principios de la gestión integrada de las aguas y que utiliza asignaciones de agua.	<ul style="list-style-type: none"> - El agua puede transferirse de usos de bajo valor a usos de alto valor. - Capacidad de distinguir entre asignaciones consuntivas y no consuntivas, y permanentes y contingentes. - Objetivos ambientales incluidos en los mecanismos de gobernanza. - Cierta responsabilidad de la gestión, administración y distribución del agua se delega en las Organizaciones de Usuarios de Agua (OUAs). 	<ul style="list-style-type: none"> - Concentración potencial de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAAs) entre personas y entidades bien dotadas de recursos, lo que conduce a resultados no equitativos. - Sobreexplotación en algunas cuencas. - Instituciones de gestión del agua fragmentadas y superpuestas. - Gobernanza altamente centralizada, con oportunidades limitadas de participación local. - Desconexión entre las OUAs y la gobernanza centralizada. - Por lo general, las OUAs carecen de recursos, habilidades y experiencia, y no cubren a todos los usuarios del agua.
Nueva Gales del Sur (Australia)	Enfoque 'top-down' (desde arriba hacia abajo) que incorpora el sistema legal de licencias/permisos (basado en los derechos legales de aprovechamiento de agua), mercados de agua y oportunidades de consulta para la participación en la preparación y revisión del plan de manejo.	<ul style="list-style-type: none"> - Combinación integral de instrumentos de gobernanza: ej. la reglamentación gubernamental, el compra y venta de agua y la planificación del agua. - Objetivos claros de rendimiento sostenible del agua. - Abarca las aguas superficiales y subterráneas. - Participación de la comunidad en la formación de planes de distribución de agua. - Regulador designado para hacer cumplir la ley. 	<ul style="list-style-type: none"> - Oportunidades limitadas de participación más allá de la etapa de planificación inicial. - Falta de confianza entre los usuarios del agua y los funcionarios públicos, en particular los reguladores. - Problemas con el cumplimiento y la aplicación de la ley. - Tensión entre los usuarios agrícolas y el suministro de agua urbana. - Erosión de la confianza de la comunidad y de los interesados directos en la gobernanza del agua.

Jurisdicción	Visión general	Fortalezas	Debilidades
California (EEUU)	Enfoque de múltiples niveles que emplea mecanismos mixtos que incluyen la planificación a nivel local, adjudicación judicial y el uso de los "watermasters" (derechos de extracción de agua según la ley común) y la infraestructura de aguas superficiales de propiedad del Estado.	<ul style="list-style-type: none"> - Enfoque 'bottom-up' (desde abajo hacia arriba) el cual facilita la planificación del agua a nivel local. - Oportunidades de participación y autorregulación, incluye a todos los usuarios del agua, no sólo a los propietarios de las tierras. - Asignaciones de agua localizadas. - Respaldo de la intervención a nivel estatal si es necesario. - Organismos estatales obligados a cooperar 	<ul style="list-style-type: none"> - Múltiples niveles, complejo y carece de consistencia en todo el estado, también con planes superpuestos. - Falta de integración de la gestión de las aguas subterráneas con las aguas superficiales. - Falta de experiencia de las Agencias Sostenibles de Aguas Subterráneas (GSAs) en la gestión de las aguas subterráneas y su cumplimiento. - Grado de incertidumbre en la financiación. - Tiempo necesario para poner en marcha las GSA. - Falta de datos integrados sobre el rendimiento sostenible.
Arizona (EEUU)	Enfoque 'top-down', derechos de extracción de agua según la ley común, gestión del agua vinculada a la planificación del uso de la tierra, regulación más estricta de las zonas de sobreexplotación de aguas subterráneas.	<ul style="list-style-type: none"> - Tiene por objeto superar las limitaciones del enfoque de los derechos de propiedad privada. - Cuando se incluye, el "rendimiento seguro" proporciona una mayor certidumbre. - Facultades sustanciales para fiscalización y asegurar cumplimiento. - Mejora de la recopilación de datos. - Su programa de suministro de agua es una poderosa herramienta regulatoria. - La venta y compra de agua es posible de manera limitada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desconexión entre el "rendimiento seguro" y la sostenibilidad. - Falta de integración entre la gestión de las aguas superficiales y subterráneas. - No aborda la calidad del agua. - No se exige la participación local en el marco del Sistema Comunitario de Agua. - Incorporación inadecuada de la información climática. - Limitada moderación de los poderes del Estado por la participación local.
Brasil	Principalmente un enfoque 'bottom-up' que emplea la planificación a escala de cuenca diseñada para ser administrada por Comités de Cuenca compuestos por usuarios del agua y representantes de la sociedad civil, la industria y el sector público.	<ul style="list-style-type: none"> - Movimiento de las bases (la comunidad). - Altos niveles de participación. - Compromiso tripartito en los Comités de Cuenca con amplio alcance de gestión. - Adaptado a las cuencas locales. - Abordar las necesidades de los usuarios, sociales y ambientales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de poderes de ejecución. - Los gobiernos pueden ignorar los Comités de Cuenca, y de hecho lo hacen. - Ausencia de financiación segura para los Comités de Cuenca. - Falta de una verdadera capacidad de deliberación. - Susceptible de abuso o de ser ignorado por las elites privadas/públicas. - Falta infraestructura y cultura de apoyo a la gobernanza institucional

Jurisdicción	Visión general	Fortalezas	Debilidades
Nueva Zelanda	Mezcla de enfoques regionales y de 'bottom-up', empleando un sistema anidado diseñado para ser administrado por un Consejo Regional, con opciones de colaboración con los usuarios locales del agua.	<ul style="list-style-type: none"> - Representación local elegida. - Reconocimiento de la participación indígena (Maorí). - Mandato para la experimentación participativa. - Autogestión basada en los pares, flexibilidad a través de la venta y compra informal de agua. - Datos obligatorios de telemetría en tiempo real. - Mejora de los niveles de cumplimiento. - Apoyo del Estado para la aplicación de la ley, cuando sea necesario. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo de la tecnología de telemetría y la gestión de la base de datos. - Participación limitada fuera de los usuarios privados del agua. - Requiere la existencia de un grupo organizado de usuarios de agua. - Riesgo de regulación por parte de los funcionarios estatales. - Requiere habilidades y conocimientos por parte de los participantes. - Depende de la buena voluntad y del compromiso continuo de los participantes.
Francia	Gestión de niveles para responder de lo general a lo específico, de lo regional a lo local. Facilita la participación local a través de objetivos locales de la cuenca y los planes de gestión, que deben estar en consonancia con los objetivos regionales generales. Elimina la autonomía individual a cambio de la responsabilidad colectiva. Aborda la cantidad y la calidad del agua.	<ul style="list-style-type: none"> - Responde a las condiciones locales. - Opciones flexibles en materia de política, reglamento y gobernanza. - Gestión integrada del agua, incluidas las aguas superficiales y subterráneas, el riego, el saneamiento, el agua potable y los entornos acuáticos. - Coherencia y coordinación en la gestión del agua a nivel local y regional. - Facilita un alto grado de participación en la planificación y la ejecución, y la posterior apropiación de la gestión por parte de los usuarios del agua. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultades para establecer topes de extracción e imponer asignaciones restringidas. - Falta de colaboración, cooperación y coordinación institucional, incluida la aplicación de la ley. - Falta de conocimientos y experiencia suficientes en hidrología. - Incapacidad para hacer frente a la falta de voluntad y compromiso político. - Riesgo de perpetuar las sobreasignaciones. - Dificultad para mantener la participación comunitaria a largo plazo.

3.6.3 Principios de diseño para una gobernanza

Como se menciona en la descripción general anterior, los enfoques participativos para la gobernanza del agua son un experimento social continuo. Sin embargo, la gobernanza participativa del agua también está madurando, pasando de un período de prueba por ensayo y error a uno de consolidación y refinamiento. Pero el éxito de esta nueva etapa depende principalmente de construir sobre "oleadas" anteriores y de prestar atención a las lecciones de éxitos y fracasos y extraer lecciones más amplias de ellos. Si bien se realizó una serie de observaciones sobre las implicaciones prácticas de los hallazgos en cada uno de los estudios de caso anteriores (ver Anexo B.2. para más detalles), también es importante una declaración más amplia de las condiciones (o al menos algunas de las condiciones) necesarias para maximizar las oportunidades de éxito de la gobernanza participativa del agua. Se proporciona tal declaración a través de un conjunto de "principios de diseño" (Ostrom, 1990; Holley et al., 2012). Dichos principios están destinados a ofrecer orientación a los

tomadores de decisiones, pero dada la medida en que las dinámicas complejas, el caos y la dependencia de la trayectoria, entre otras variables, darán forma a los resultados de las políticas, no deben tomarse como prescripciones (Young et al., 2008; Holley et al., 2012).

Principio 1:

Brindar oportunidades para la participación no gubernamental en cada fase de la gobernanza integrada de los recursos hídricos, incluida la planificación, implementación, monitoreo, revisión y cumplimiento.

Principio 2:

Brindar oportunidades para que una variedad de las partes interesadas participe en la gobernanza integrada de los recursos hídricos, incluidas las comunidades locales, los agricultores, los grupos indígenas y las ONG.

Principio 3:

Brindar educación y comunicación prácticas, específicas y oportunas a las partes interesadas participantes, incluida información sobre los sistemas de agua, los riesgos y los problemas.

Principio 4:

Brindar apoyo financiero y recursos continuos a los participantes para mantener su compromiso y participación a largo plazo.

Principio 5:

Proporcionar enfoques regulatorios / de gobernanza flexibles que puedan adaptarse, dentro de marcos generales más amplios, a las cambiantes condiciones ambientales, sociales e institucionales locales.

Principio 6:

Asegurar que la regulación / gobernanza tenga una combinación complementaria de enfoques "de arriba hacia abajo" (por ejemplo, objetivos generales de la cuenca) y "de abajo hacia arriba" que operen dentro del marco de arriba hacia abajo para facilitar el compromiso, la participación y la propiedad locales.

Principio 7:

Trate de implementar sistemas de monitoreo e intercambio de información que permitan a los gestores locales realizar una gestión con los diferentes actores locales y facilitar el cumplimiento y aplicación mutuos.

Principio 8:

Proporcionar una base de la regulación, el cumplimiento y la aplicación del gobierno en caso de falla regulatoria a nivel local y participativo.

Principio 9:

Proporcionar una gestión integrada de las fuentes de agua superficial y subterránea.

Principio 10:

Desarrolle e implemente una amplia gama de medidas de monitoreo, incluidos datos telemétricos en tiempo real en una base de datos agregada.

Principio 11:

Garantizar la transparencia de los datos de seguimiento y rendimiento a nivel desagregado para los usuarios de agua participantes y a nivel agregado para la comunidad en general.

3.6.4 Alternativas de gobernanza

La revisión de cada jurisdicción muestra que el tipo de institución participativa que emerge depende de los arreglos legales y regulatorios existentes, y de las limitaciones y oportunidades que imponen. En el caso de Chile, el sistema de mercado, que involucra derechos privados y organizaciones de usuarios del agua, crea su propio conjunto de oportunidades y limitaciones. Asumiendo que este sistema en Chile no será reemplazado, al menos en el corto o mediano plazo, es muy relevante identificar y aprovechar al máximo las oportunidades por él ofrecidas.

En términos generales, la revisión anterior ha identificado cuatro modelos alternativos / superpuestos:

- Comités consultivos regionales (por ejemplo, Nueva Gales del Sur y Arizona) para la toma de decisiones y la planificación del agua: a menudo están formados por líderes / representantes máximos que asesoran e informan a los tomadores de decisiones gubernamentales sobre planes o acciones. Los grupos asesores a menudo se complementan con procesos de consulta pública más amplios o audiencias públicas para permitir un compromiso participativo más amplio.
- Comités de cuenca (por ejemplo, comités de cuenca fluvial en Francia): comprenden una combinación de expertos, agencias y otros organismos definidos por el gobierno que pueden establecer objetivos, identificar socios clave y tomar decisiones vinculantes.
- Órganos autorregulados (por ejemplo, bajo la SGMA de California, algunos comités regionales en Brasil): los grupos deciden en sus propias jurisdicciones y/o membresía (por ejemplo, individuos o representantes de otras asociaciones), mecanismos de recaudación de fondos y acciones para lograr los objetivos generales de desempeño (establecimiento de metas, implementación y ejecución). Se deben proporcionar requisitos y orientación amplios sobre la inclusión y la transparencia, y se pueden proporcionar apoyos para la intervención del gobierno si el grupo no logra los objetivos o se vuelve disfuncional). Las acciones de los grupos pueden ser legalmente vinculantes o de naturaleza más voluntaria, y los grupos desempeñan un papel de coordinación que busca engatusar e influir en otros (por ejemplo, agencias gubernamentales).
- Los colectivos de usuarios del agua (por ejemplo, Chile y Francia) se preparan y planifican la distribución del agua entre los usuarios (a menudo de acuerdo con planes u objetivos más amplios de gobernanza del agua) y pueden desempeñar un papel mayor o menor en el seguimiento y la aplicación (véase, por ejemplo, Nueva Zelanda).

A pesar de estos diversos modelos, la revisión anterior también ha destacado que ninguno es perfecto. Los sistemas participativos solo funcionarán cuando existan motivaciones intrínsecas (mayores ganancias económicas; preocupación por el sistema de agua y el uso sostenible; compartir la equidad de los recursos) o extrínsecas (por ejemplo, colapso del sistema de agua / escasez de agua; amenaza de una regulación estatal estricta) para dedicar un tiempo y esfuerzo por aceptar, establecer y mantener un proceso de gestión. A continuación, se proporcionan algunos borradores de pasos y puntos de orientación para informar más discusiones y posibles acciones:

1. Se necesita claridad en los roles de todos los actores claves en el proceso de gestión del agua mediante un inventario / auditoría de las redes de los actores clave dentro de la cuenca / subcuenca. Esto debería identificar:
 - a) Instituciones, responsabilidades y capacidades existentes para la gestión del agua (incluidas las responsabilidades superpuestas).
 - b) Infraestructura (recursos, equipos de medición y monitoreo, infraestructura de transporte acuático).

- c) Superposición entre los sistemas de aguas subterráneas y superficiales (¿se pueden gestionar de forma conjunta en algunos lugares?).
2. ¿Los arreglos existentes son adecuados para el propósito (qué habilidades, finanzas, historia, etc.) y qué espacio hay para reemplazar, modificar, o mejorar estos arreglos para permitir una participación significativa en la cuenca?
 3. Habiendo realizado la evaluación anterior y reconociendo las limitaciones de operar dentro de un enfoque de arriba hacia abajo basado en el mercado, ¿qué oportunidades hay dentro de estos acuerdos para aumentar la participación en:
 - a) Planificación, por ejemplo, definir nuevas áreas de gestión, establecer límites máximos.
 - b) Implementación, por ejemplo, agregando asignaciones / derechos en la cuenca o subcuencas para autoorganizar y autogestionar asignaciones.
 - c) Aplicación (fiscalización): fiscalización de actor a actor (por ejemplo, facilitada mediante el intercambio de datos y el acceso); designación de "maestros de agua" por parte de los usuarios (plazo fijo o función rotativa) o del gobierno.

Cada etapa debe incluir la consideración de incentivos para alentar a las personas a participar. Por ejemplo, la suma de las asignaciones y el trabajo conjunto pueden tener el beneficio de permitir compras masivas de tecnología a costos más bajos, o proporcionar un mayor poder de negociación contra los poseedores de agua individuales con buenos recursos.

4. Establecimiento de un grupo participativo: su capacidad para lograr legitimidad y sostenibilidad dependerá de que sea representativo de varios intereses (diferentes tipos de usuarios, pero también posiblemente otras ONGs). Su membresía puede determinarse mediante votación (distribuida por volumen de extracción; número de puntos de extracción; área de tierra) o mediante una selección basada en categorías predefinidas (tipo de intereses / experiencia). También se podrían establecer reglas para la tenencia / rotación de miembros (por ejemplo, cada dos o tres años). Se pueden establecer reglas para la toma de decisiones (por ejemplo, por mayoría de votos, por consenso), así como procedimientos (por ejemplo, gestión financiera, reuniones, por ejemplo, abiertas o cerradas). También se podrían establecer reglas para el cumplimiento y la aplicación (el uso de la educación, la presión de los compañeros y las normas sociales como el nombre y la vergüenza o la expulsión del grupo, o informar al gobierno).
5. Dotar de recursos al grupo y sus actividades: identificar formas innovadoras pero pragmáticas de generar ingresos para la actividad del grupo (reuniones), el seguimiento (medidores) y la aplicación. Esto puede incluir fuentes como el gobierno, de los usuarios de las asociaciones (tarifa anual plana, cargo de agua basado en el volumen, pago de multas / sanciones por infracciones al propio grupo) o empresas / propietarios de represas (por ejemplo, una mejor gestión garantizará un suministro más sostenible de agua para los operadores de la presa)
6. La educación / comunicación seguirá siendo fundamental antes, durante y después de los pasos anteriores: esto podría incluir la capacitación de los miembros del grupo, la contratación de facilitadores independientes, la educación de los agricultores sobre los beneficios y límites del sistema participativo y las diversas funciones y responsabilidades, así como el establecimiento de información de acceso público sobre el grupo.

Sección III Resultados y conclusiones

4 Resultados

4.1 Análisis de actores²⁷

4.1.1 Análisis de partes interesadas

Interés de los actores y su influencia

Una vez que se han identificado los actores claves, se debe tener un buen entendimiento sobre la forma en que estos promoverán la gestión de los recursos hídricos de la cuenca y de qué manera. Para el caso de este análisis, se entiende el GA como la estructura de gobernanza que permite una GIRH en la CRR.

Para llevar esto a cabo, el análisis poder/interés es una herramienta beneficiosa que permite identificar la capacidad que tienen los actores para influir en las tomas de decisiones sobre la gestión de los recursos hídricos y comprender el nivel de interés que poseen para que se lleve a cabo. Así, el poder se determina por cualquier tipo de factor que influya en las decisiones, como: poder económico, información, redes, posesión de derechos de aguas, etc.

El resultado de esta actividad permite entender el estado actual de cómo se relacionan los actores con la gestión de los recursos hídricos y, por consiguiente, este puede ser variable en el tiempo. Así, será posible comprender de qué forma se deben involucrar los actores con la gestión de los recursos hídricos a través de estrategias de participación, empoderamiento, etc.

Para desarrollar este paso, usualmente se realiza observación en terreno, entrevistas, revisión literaria, talleres, etc. (Oliver, s.f.). Particularmente, este análisis fue realizado cualitativamente a través de reuniones, en base a la experiencia local del equipo de CSIRO y posteriormente validado por un actor clave perteneciente al GA. La Tabla 14 y Figura 15 muestran el resultado de este análisis.

Tabla 14. Análisis Poder – Interés del Grupo Asesor.

INSTITUCIÓN	SECTOR	PODER	INTERÉS
CODELCO División Teniente	Mínero	Alto	Alto
Federación Agricultores Cachapoal	Agrícola	Alto	Alto
Federación de la Junta de Vigilancia de la Sexta Región	Usuarios de Aguas	Alto	Alto
Dirección General de Aguas (DGA)	Autoridad de aguas	Alto	Alto
SEREMI Ministerio de Agricultura	Autoridad de agricultura	Alto	Alto
Asociación Gremial de Servicios de Agua Potable Rural (AGRESAP)	Agua potable rural	Alto	Alto
Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)	Obras hidráulicas	Alto	Alto

²⁷ Para una revisión en profundidad de la discusión teórica de estos resultados ver: Rojas, R., Bennison, G., Gálvez, V., Claro, E., & Castelblanco, G. (2020). Advancing Collaborative Water Governance: Unravelling Stakeholders' Relationships and Influences in Contentious River Basins. *Water*, 12(12), 3316.

INSTITUCIÓN	SECTOR	PODER	INTERÉS
SEREMI Medio Ambiente	Autoridad de medio ambiente	Medio	Alto
ESSBIO	Servicios sanitarios	Medio	Medio
Enel	Sector eléctrico, aguas abajo	Medio	Medio
Gobierno Regional, Departamento de Planificación y Ordenamiento Territorial	Gobierno Regional	Medio	Medio
Agrosúper	Agroindustria	Bajo	Medio
Pacific Hydro	Sector eléctrico, aguas arriba	Medio	Medio
CODEPRA (Corporación de Desarrollo y Protección del Lago Rapel)	Ambiental-turismo	Bajo	Medio
Universidad de O'Higgins	Investigación regional	Bajo	Medio
Asociación de Municipalidades de O'Higgins	Municipalidades	Bajo	Medio

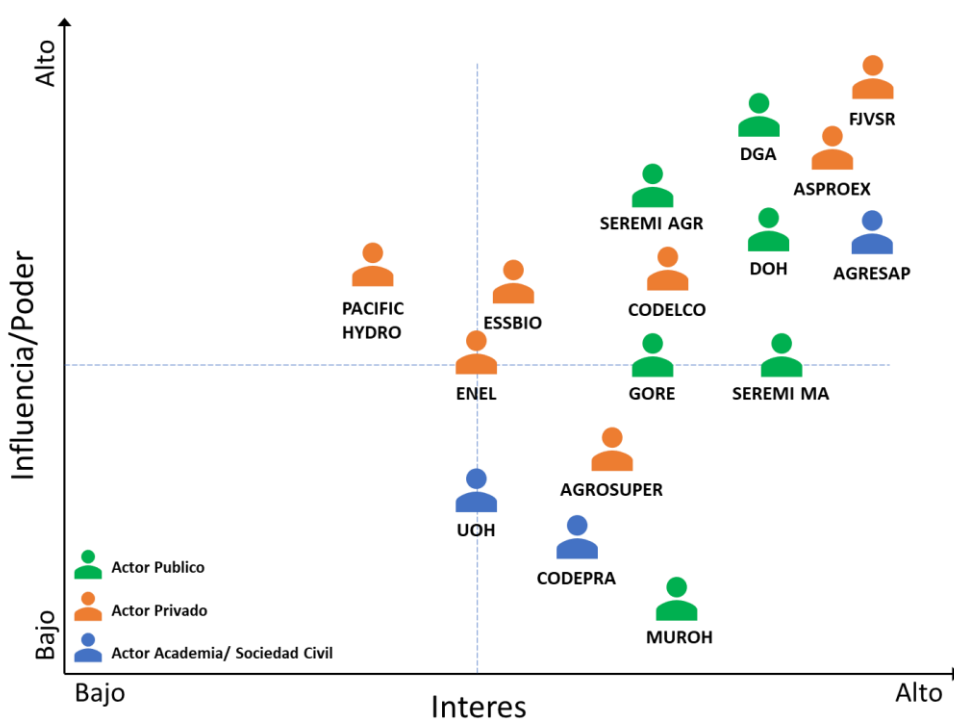


Figura 15. Matriz poder-interés del Grupo Asesor.

En general, los resultados observados permiten entender aproximadamente el interés e influencia de los actores participantes en el GA. Es importante mencionar que el objetivo de este paso es poder entender las similitudes y diferencias entre actores para facilitar la participación y no entender su ubicación exacta dentro de esta matriz.

Luego, aquellos actores que tienen un alto grado de poder e interés son los actores claves que tendrán un mayor nivel de participación en la gestión de los recursos hídricos de la cuenca y se debería colaborar estrechamente con ellos. Asimismo, aquellos actores con bajo poder y con alto grado de interés, serán considerados como aliados positivos, pero se deberá trabajar en actividades para empoderarlos y así facilitar el diálogo entre los actores, en caso de que deban cumplir un rol importante en la gestión de los recursos hídricos.

Los actores con un bajo grado de interés requerirán un tipo diferente de participación. Aquellos con alto poder y bajo interés tienen el potencial de demorar el proyecto y, por lo tanto, se deberían generar actividades para motivar su interés y/o mantenerlos satisfechos con respecto a la gestión de los recursos hídricos. Finalmente, los actores con bajo poder y bajo interés pueden simplemente desconocer los beneficios de una mejor gestión de los recursos hídricos, y solamente podrían participar de manera consultiva y/o informativa; sin embargo, en caso de que sean los responsables de cumplir un rol importante en la gestión de los recursos hídricos, se deberían generar estrategias de empoderamiento e interés.

Evaluación de las instituciones participantes en relación con una GIRH y la visión de la CRR

Tras el análisis de los actores y, basado tanto en los tipos de integración establecidos por la Asociación Mundial del Agua (GWP) (Jonch-Clausen y Fugl, 2001) como en los elementos de la visión de la cuenca desarrollados en este proyecto (ver Figura 31), posiblemente podrían existir actores que no están siendo considerados como un actor relevante a la gestión de recursos hídricos de la CRR y que podrían tener un rol clave para el cumplimiento de la visión.

Los actores que no están considerados en los 127 actores identificados (Sección 3.2.1) y deberían ser considerados de alguna u otra forma son:

- ONEMI: Organismo técnico del Estado de Chile encargado de la coordinación del Sistema Nacional de Protección Civil. Su misión es planificar, impulsar, articular y ejecutar acciones de prevención, respuesta y rehabilitación frente a situaciones de riesgo colectivo, emergencias, desastres y catástrofes de origen natural o provocados por la acción humana. Se relaciona estrechamente con la dimensión C de la visión en el elemento que indica: **“Existen planes y estrategias para abordar riesgos y desastres”**.
- Empresas Forestales: Según información proporcionada por ODEPA (2018), cerca del 38% de la superficie regional cultivable corresponde a plantaciones forestales²⁸. Estos actores podrían tener influencia tanto en el uso del agua como en la prevención de incendios forestales. Podría tener relación con los siguientes elementos: **“Existen planes y estrategias para abordar riesgos y desastres”. (Incendios Forestales); “Existe un ordenamiento territorial consistente con la visión de la cuenca” y “Se protege la biodiversidad de la cuenca”**.
- SERNAGEOMIN: Organismo técnico responsable de generar, mantener y difundir información de geología básica y de recursos y peligros geológicos del territorio nacional, para el bienestar de la comunidad y al servicio del país, y de regular y fiscalizar el cumplimiento de normativas mineras en materia de seguridad, propiedad y planes de cierre, para contribuir al desarrollo de la minería nacional. Podría tener relación con los siguientes elementos: **“Todos los cuerpos de agua cumplen con normas de calidad”; “Existe gestión de recarga de acuíferos”; “Existe un alto grado de confianza entre usuarios y reguladores”; y “La fiscalización del recurso funciona eficiente y efectivamente”**.
- Actores costeros: Considerando la interacción de la cuenca con la zona costera, no se observan actores privados relacionados a esta zona (por ejemplo: grupos ecologistas o pescadores). Podría tener relación con los siguientes elementos: **“Se garantiza el consumo a todos los usuarios de manera proporcional a la disponibilidad actual y futura”**.
- Actores urbanos: Considerando que cerca del 75% de la población de la región reside en áreas urbanas (ODEPA, 2018), el Ministerio de Vivienda y Urbanismo podría tener un rol importante debido

²⁸ Es importante destacar que esto es una cifra regional y podría no ser relevante a nivel de cuenca. A incluir estos actores, se requiere revisar en mayor detalle las ubicaciones de las plantaciones forestales mencionadas para determinar su relevancia.

a que son los responsables de la gestión de las redes secundarias de aguas lluvias y gestión urbana. Podría tener relación con los siguientes elementos: **“Los recursos son gestionados en consideración de la necesidad de adaptarse al cambio climático”**.

Al respecto, se recomienda considerar la incorporación de los organismos mencionados en procesos futuros relacionados a la gestión de recursos hídricos, y si corresponde, realizar una forma de participación relacionada al interés/poder que puedan tener. La forma de participación puede ser: informativa, consultiva, participativa, toma de decisiones, etc.

Adicionalmente, se puede observar que en la cuenca no existen asociaciones de usuarios de agua subterránea. Por lo tanto, sería recomendable promover la creación de estos actores. En ese contexto, según la Fundación Chile (2018), actualmente la demanda supera a la oferta en la cuenca en un 20% y se disminuirá en 30% la precipitación y 40% la escorrentía a fines del siglo (Boszkurt et al., 2017). Consecuentemente, es posible esperar descensos futuros en los niveles de agua subterránea, deterioro ambiental, entre otros.

Además, los siguientes organismos, que no son miembros del GA, pero sí de las sesiones informativas, podrían tener roles importantes en una futura gobernanza del agua debido a un alto/medio grado de poder y podría evaluarse una forma de participación.

- SISS y SMA: Organismos públicos fiscalizadores y medio ambientales respectivamente. Podría tener relación con los siguientes elementos: **“La fiscalización del recurso funciona eficiente y efectivamente”**; **“Todos los cuerpos de agua cumplen con normas de calidad”**; y **“Existe un alto grado de confianza entre usuarios y reguladores”**.
- CNR e INDAP: Organismos públicos encargados de asegurar el incremento y mejoramiento de la superficie regada del país; y promover el desarrollo económico, social y tecnológico de los pequeños productores agrícolas y campesinos respectivamente. Podrían tener relación con los siguientes elementos: **“Se aplican las mejores tecnologías (ej.: riego tecnificado) para aumentar la eficiencia del uso del recurso”**.

Finalmente, se observa en la Figura 15 que existen algunos actores que, si bien mantienen un grado medio de interés en el proyecto, presentan un nivel bajo de poder. Al respecto, se sugiere realizar actividades específicas con esos actores para empoderar su participación en la gobernanza y facilitar el diálogo entre los actores para conseguir la visión de la cuenca.

Particularmente los actores que se hace referencia son:

- CODEPRA. Podría tener relación con el siguiente elemento: **“El turismo se realiza con cuidado del medio ambiente y recursos hídricos”**.
- Universidad de O’Higgins. Podría tener relación con el siguiente elemento: **“La gestión de los recursos hídricos se integra en los planes de educación”**.
- Asociación de Municipalidades de O’Higgins. Podría tener relación con el siguiente elemento: **“Los recursos son gestionados en consideración de la necesidad de adaptarse al cambio climático”**; y **“Se realiza una gestión responsable de los residuos sólidos”**.

Se recomienda revisar la participación de los actores que pudiesen tener un rol relevante en la gobernanza de los recursos hídricos en busca del cumplimiento de la visión de la cuenca y los lineamientos de la GIRH. Adicionalmente, se recomienda revisar otros grados o mecanismos de participación en algunos actores con el objetivo de generar una participación adecuada, obteniendo información de todas las perspectivas y que no dificulte la gestión de los recursos hídricos. Existen algunos actores pertenecientes al GA, como la Asociación de Municipalidades de O’Higgins y CODEPRA, que podría ser necesario empoderarlos a través de

actividades específicas para recoger adecuadamente sus perspectivas y facilitar su participación en la gestión de recursos hídricos.

Las organizaciones existentes relacionadas con la gestión / planificación / uso del agua se reunieron por primera vez en la CRR bajo un enfoque de proceso participativo. Los resultados de este proceso muestran el desarrollo de una nueva comprensión sobre los procesos a escala de cuenca, intercambio de conocimientos, aumento de la conciencia de las partes interesadas roles y funciones en las redes de habilitación de una gobernanza colaborativa de agua (CWG), evidencia de la interdependencia de las partes interesadas y la voluntad de colaborar y discutir más allá del mandato institucional / legal.

En particular, a través de numerosas instancias participativas, se observó el fomento de la confianza entre las partes interesadas, un mayor compromiso de participación y la voluntad de tomar acciones coordinadas para abordar los desafíos inmediatos y futuros relacionados con el agua. La confianza mejorada y el empoderamiento de las partes interesadas se identificaron como dos (entre otros) resultados del aprendizaje social de Reed et al. (2010). Por lo tanto, podemos argumentar que el proceso participativo empleado en este proyecto ha tenido éxito en sustentar el proceso de colaboración descrito por Ansell y Gash (2008) (Figura 3), con el aprendizaje social sobre los desafíos relacionados con el agua y el CWG (más generalmente) como un resultado material intermedio.

4.1.2 Análisis de redes sociales (SNA)

Red de colaboración en la CRR

Este aspecto refleja el grado de colaboración directa entre los actores y la frecuencia a la cual dicha colaboración se hace efectiva en dos niveles: frecuencia mayor a los seis meses, y frecuencia menor a los seis meses. Este análisis asume que la colaboración es recíproca, es decir, se asume que la colaboración existe entre dos actores incluso en el caso cuando sólo un actor ha identificado algún grado de interacción con otros actores.

Las Figuras 16, 17, 18 y 19 muestran las distintas métricas de centralidad para la colaboración en la CRR. En términos del número de conexiones (centralidad de grado, Figura 16) y la cercanía a otros actores (centralidad de cercanía, Figura 17), destacan las Mesas Ambientales (18), CODELCO (17), SEREMI MA (16), SEREMI Agr (15), GORE (14), y DGA (12) y PACIFIC Hydro (12) con más de 12 conexiones (entradas y salidas) y con valores altos de cercanía. La métrica de intermediación, es decir, la capacidad para actuar como controlador o “puente” de la colaboración (Figura 18), indica que las Mesas Ambientales, SEREMI Agr, CODELCO, DOH y SEREMI MA, poseen roles relevantes en este aspecto, y, por lo tanto, se perfilan como actores claves para gestionar la colaboración en la CRR. Finalmente, al considerar la calidad de las conexiones que posee cada actor en términos de la importancia de los actores a los cuales están conectados, la Figura 19 muestra la cercanía de valor propio. En esta métrica las Mesas Ambientales pierden protagonismo ya que dicho actor si bien posee múltiples conexiones, éstas son con actores periféricos de bajo protagonismo en la colaboración dentro de la CRR (cerca del 40% de las conexiones de las Mesas Ambientales son con actores periféricos de bajo protagonismo). Para esta métrica los seis (6) actores más relevantes son: SEREMI MA, CODELCO, SEREMI Agr, GORE, PACIFIC HYDRO y DGA.

Sobre la base del número de conexiones y la calidad/relevancia de las conexiones de cada actor en términos de valor propio, es posible definir una partición de la red de colaboración en dos componentes: núcleo y periferia (Figura 20). Para la red de colaboración en la CRR los actores claves son (sin orden de relevancia): CODEPRA, ESSBIO, DGA, SEREMI MA, PACIFIC HYDRO, SEREMI Agr, GORE, CODELCO, DOH: es decir, cinco actores del sector público, tres actores del sector privado, y un actor de la sociedad civil. Interesantemente, el modelo núcleo – periferia propone dos actores (CODEPRA y ESSBIO) que no se han identificado como

relevantes en el análisis de las métricas de centralidad. A su vez, el modelo núcleo – periferia excluye a las Mesas Ambientales, la cual se ha destacado en la mayoría de las métricas analizadas. El caso de CODEPRA y ESSBIO puede ser explicado por el mayor número de conexiones hacia actores relevantes en la red de colaboración (es decir, una mayor centralidad de valor propio). Por otro lado, las Mesas Ambientales no han sido incorporadas por la baja centralidad de valor propio calculada para ese actor.

En términos globales, la red de colaboración en la CRR muestra una densidad de 0.23, indicando que solo un 23% de la totalidad de las potenciales conexiones se observan en la práctica. En términos sectoriales, los sectores privado, público y la sociedad civil muestran densidades de 0.22, 0.16 y 0.20, respectivamente. Esto indica que el sector privado presenta un mayor número (proporcional) de conexiones en la red de la colaboración.

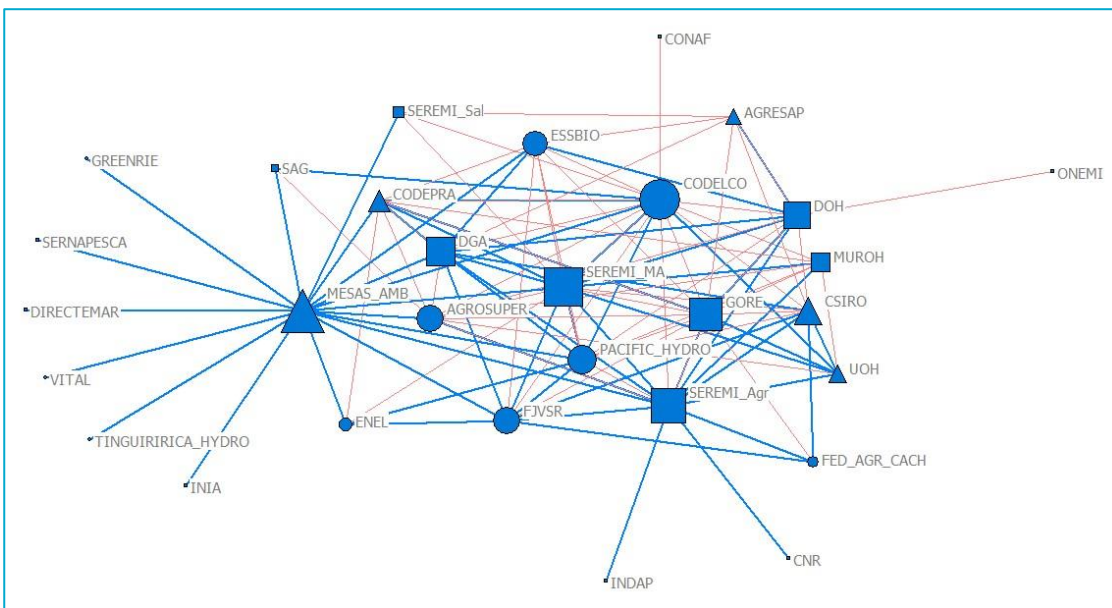


Figura 16. Centralidad de *grado* para la red de colaboración. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de grado. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.

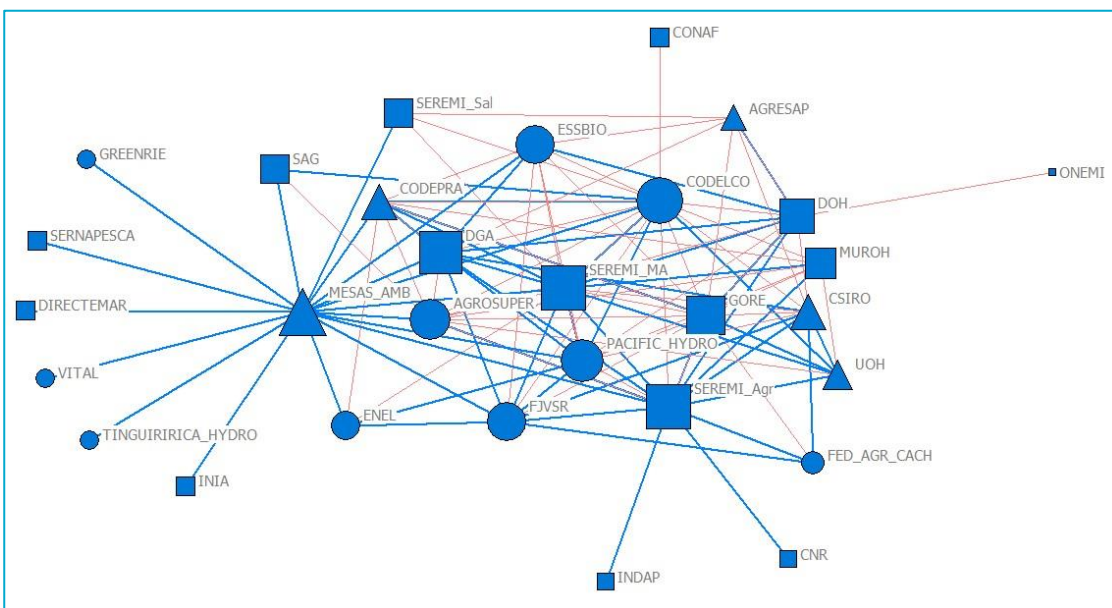


Figura 17. Centralidad de *cercanía* para la red de colaboración. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de cercanía. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.

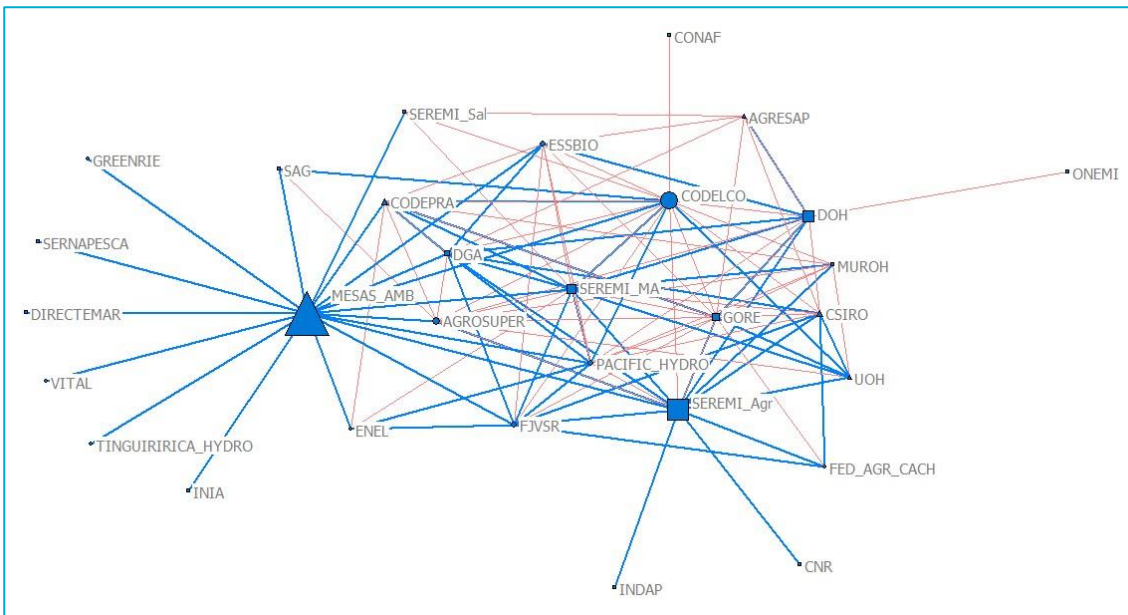


Figura 18. Centralidad de *intermediación* para la red de colaboración. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de intermediación. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.

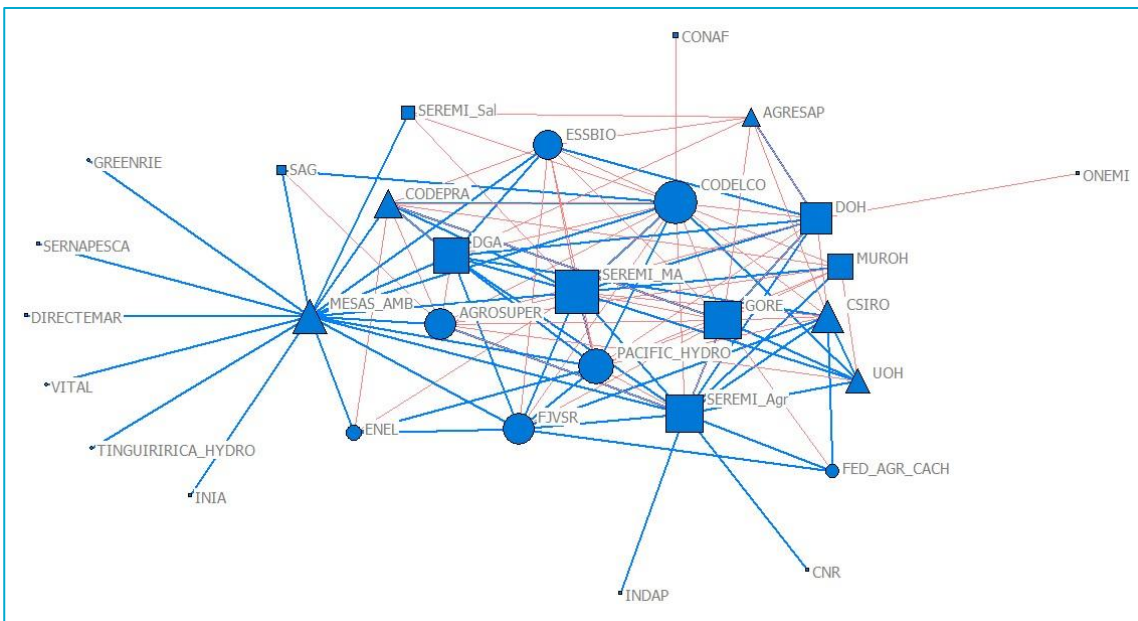


Figura 19. Centralidad de *valor propio* para la red de colaboración. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de valor propio. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.

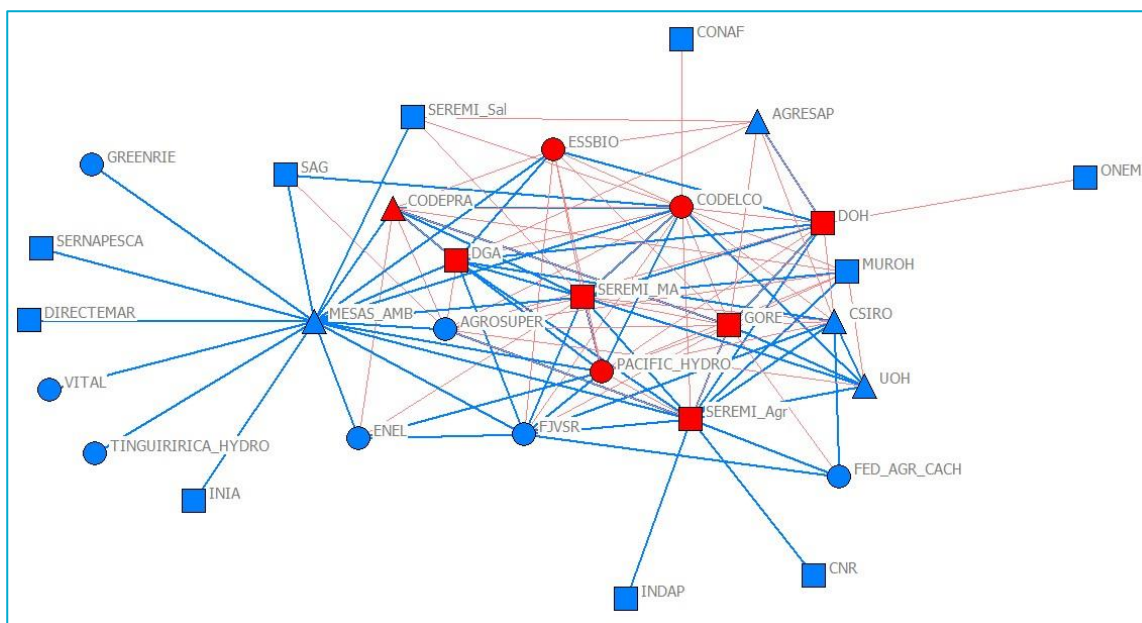


Figura 20. Núcleo-periferia para la red de colaboración en la CRR.

Red de flujo de información en la CRR

Este aspecto refleja el grado de intercambio de información directa entre los actores y la frecuencia a la cual dicho intercambio se efectúa. En este análisis se considera la dirección del intercambio de información y por tanto la propiedad de ‘remitente’ o ‘receptor’ de la información entra en juego. Similarmente, se observan dos frecuencias para el intercambio de información: regular, ej. frecuencia mayor a los seis meses, y esporádica o irregular, ej. frecuencia menor a los seis meses.

Las Figuras 21, 22, 23 y 24 muestran las métricas de centralidad para la red de flujo de información en la CRR. La centralidad de grado (Figura 21) para la red de flujo de información es similar a la red de colaboración, donde destacan las Mesas Ambientales (18), CODELCO (17), SEREMI Agr (16), SEREMI MA (16), DGA (15), DOH (12) y ESSBIO (12). A estos actores se suma la Federación de Juntas de Vigilancia de la Sexta Región (FJVSR) en términos de la centralidad de cercanía en el flujo de información (Figura 22). A diferencia de las Mesas Ambientales, la FJVSR posee una relación bi-direccional en términos de flujo de información (remitente y receptor) con un gran número de actores. Para la métrica de intermediación (Figura 23) destacan las Mesas Ambientales, SEREMI Agr y CODELCO, con roles menores para la SEREMI MA y la DGA. Estos actores, por lo tanto, juegan un rol importante en el control del flujo y la distribución de la información a través de la red en su totalidad. En términos de la calidad de las conexiones para el flujo de la información (Figura 24), la configuración de la red permite identificar un eje cuasi-vertical donde la SEREMI Agr, FJVSR, SEREMI MA, DGA y ESSBIO se conforman como actores relevantes. En particular, la SEREMI Agr, SEREMI MA y DGA juegan un rol importante al conectar actores agrupados a la derecha e izquierda de la red. Fuera de este eje también destacan CODELCO, DOH y el GORE. Esta red destaca el rol de las instituciones públicas como custodios y gestores de la información pública disponible.

El modelo núcleo – periferia para la red de flujo de información (Figura 25) es idéntico al modelo identificado para la red de colaboración (Núcleo: CODEPRA, PACIFIC HYDRO, SEREMI MA, SEREMI Agr, DGA, ESSBIO, CODELCO, DOH, GORE).

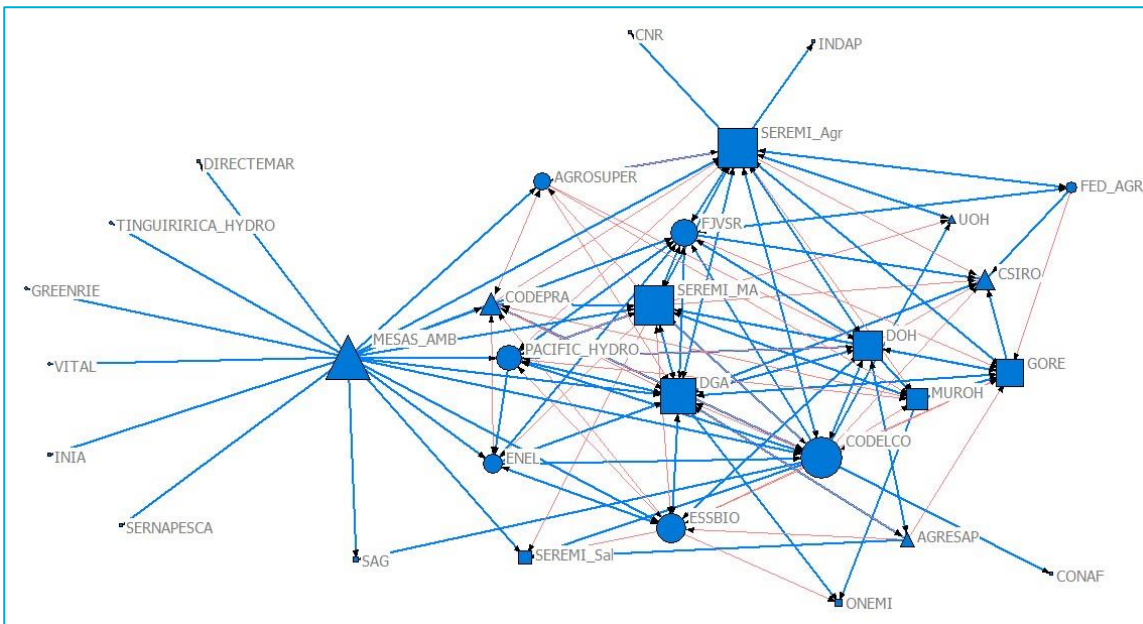


Figura 21. Centralidad de *grado* para la red flujo de información. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de grado. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.

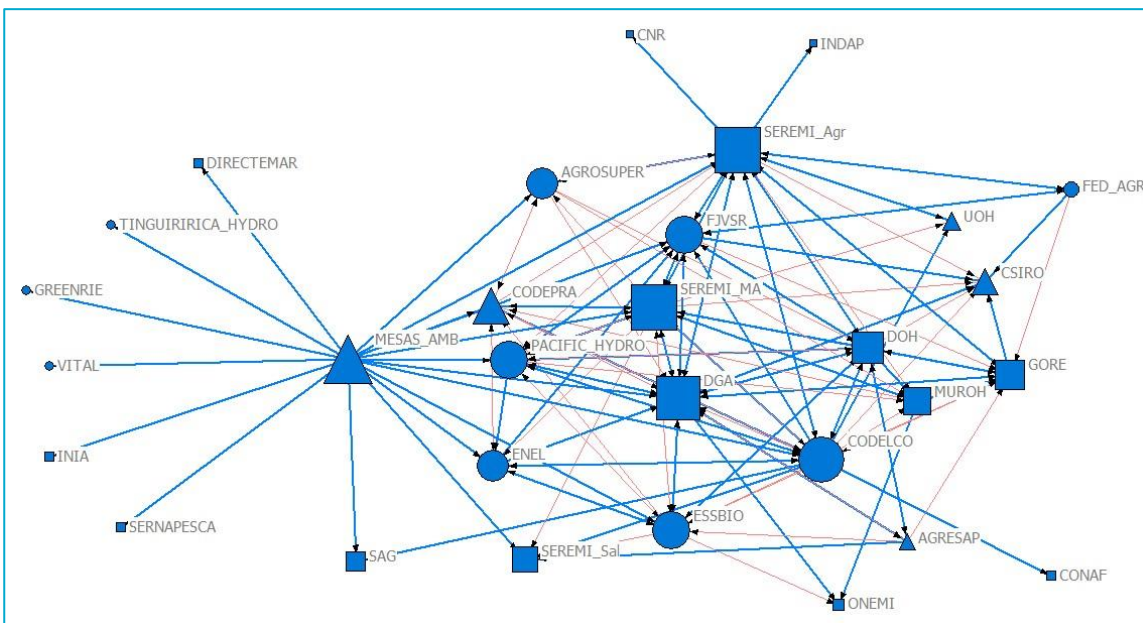


Figura 22. Centralidad de *cercanía* para la red flujo de información. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de cercanía. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.

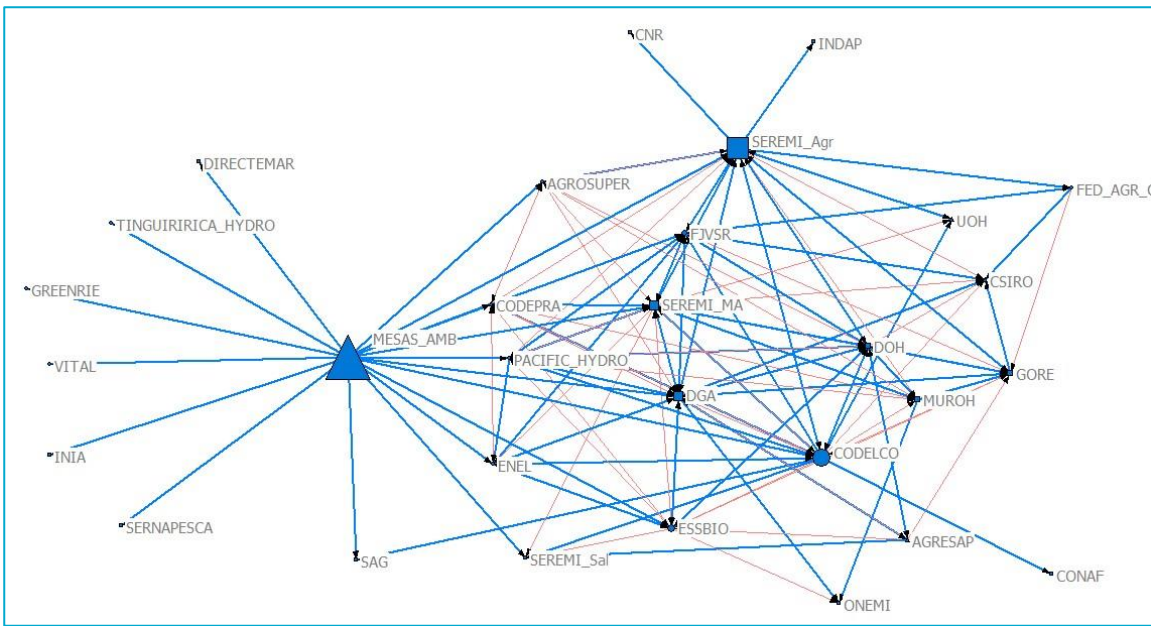


Figura 23. Centralidad de *intermediación* para la red flujo de información. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de intermediación. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.

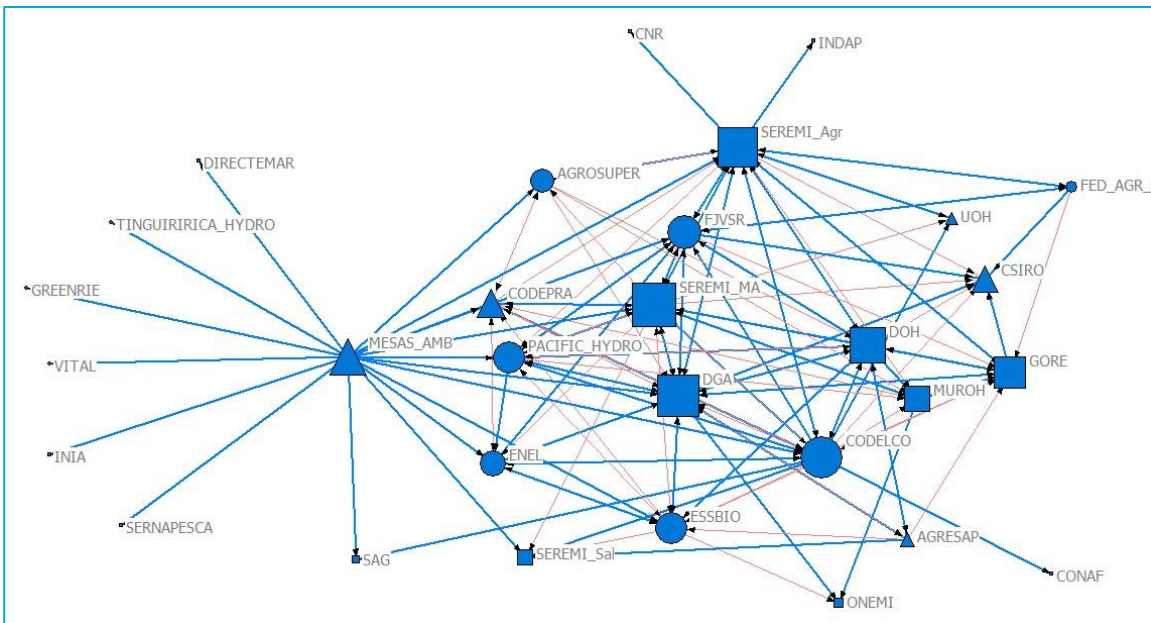


Figura 24. Centralidad de *valor propio* para la red de flujo de información. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de valor propio. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.

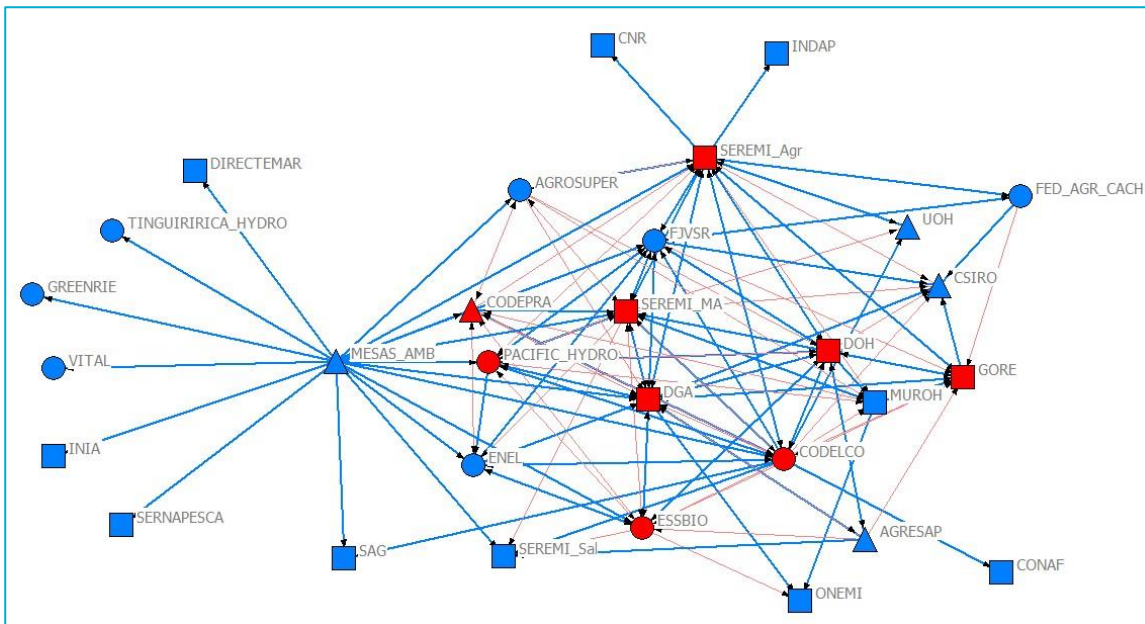


Figura 25. Núcleo-periferia para la red de flujo de información en la CRR.

La densidad de la red del flujo de información es de 0.23, indicando que solo el 23% de las conexiones potenciales entre los actores de la red se lleva a cabo en la práctica. En términos sectoriales, se observan densidades del 0.24, 0.16 y 0.05 para el sector privado, público, y sociedad civil, respectivamente. Esto indica que el sector privado presenta un mayor número (proporcional) de conexiones en la red de la información. Al mismo tiempo destaca el bajo número proporcional de conexiones de la sociedad civil comparado con el resto de los actores (5% del total de potenciales conexiones en la red).

Finalmente, dado que el flujo de información es direccional, la reciprocidad de los intercambios de información alcanza al 57% de los enlaces, indicando que más de la mitad de las conexiones registrando traspaso de información son bidireccional entre los actores involucrados.

Red de flujo de dinero en la CRR

El flujo de fondos/dinero entre los actores entrevistados se muestra en las Figuras 26, 27, 28, 29 y 30. Al igual que en el caso de la red de información, la red de flujo de dinero es direccional. En esta red destacan las Mesas Ambientales como principal receptor de fondos desde organismos privados y el GORE, siendo este último una de las principales fuentes de fondos dentro de la red. A pesar de identificar las Mesas Ambientales con un rol relevante en términos de recibir financiamiento de diferentes fuentes en la CRR, nos indicaron que los montos destinados son relativamente menores que corresponden a cuotas de participación en las Mesas o financiamiento de un proyecto de tamaño menor.

La centralidad de grado (Figura 26) para el flujo de dinero indica que las Mesas Ambientales son un receptor importante de fondos, mientras que CODELCO y el GORE concentran el mayor número de entregas de fondos a otros actores. En términos de la métrica de cercanía (Figura 27) todos los actores presentes en la red muestran un valor de cercanía similar, indicando que los actores se encuentran relativamente a la misma distancia dentro de la red (3-4 conexiones con otros actores dentro de la red). La centralidad de intermediación (Figura 28) indica que las Mesas Ambientales, CODELCO, GORE y AGROSUPER ocupan posiciones relevantes para el flujo de dinero en la red de la CRR. La métrica de relevancia de las conexiones (Figura 29) indica que actores como FJVSJ, ESSBIO, CODEPRA y PACIFIC HYDRO son relevantes en términos del flujo de dinero cuando la calidad de las relaciones se considera.

El modelo núcleo – periferia para el flujo de dinero en la CRR (Figura 30) revela que los actores del núcleo de dicha red corresponden a: AGROSUPER, Mesas Ambientales, ESSBIO, CODEPRA, FJVSJ, CODELCO y GORE.

La densidad de la red de flujo de fondos (dinero) es baja con un valor de 0.09, indicando que tan solo un 9% del potencial de relaciones entre los actores se observa en la realidad. En términos sectoriales, el mayor flujo de fondos se produce involucrando actores del sector privado (0.11) y el sector público (0.02). La reciprocidad es menor al 3% indicando que la mayoría de las relaciones en le red de flujo de dinero son unidireccionales, con actores actuando como donantes o receptores de fondos.

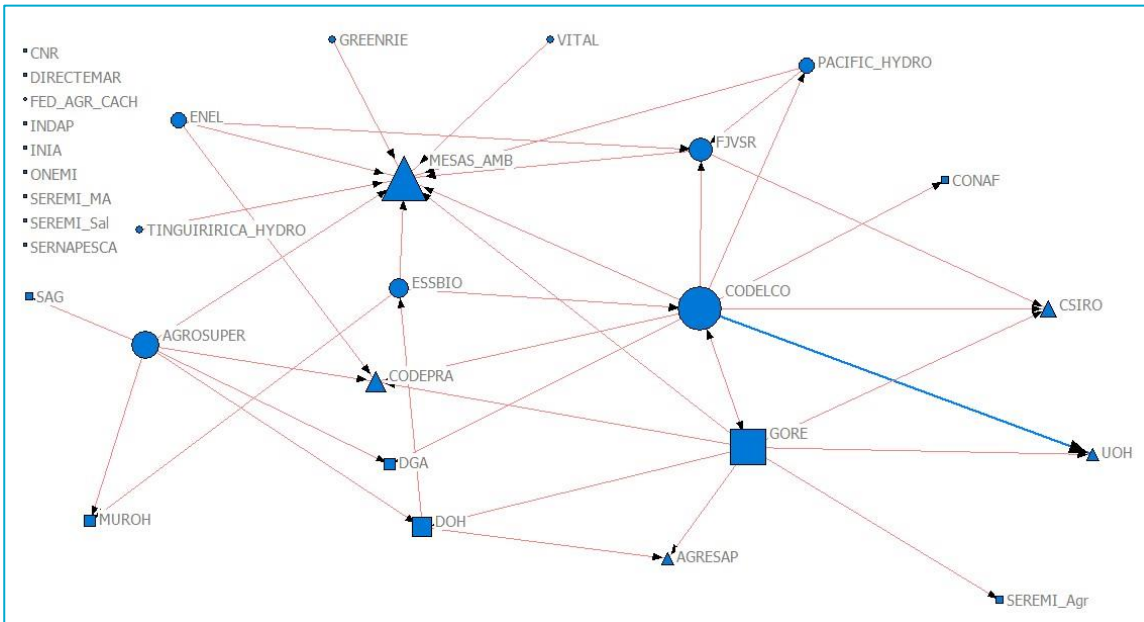


Figura 26. Centralidad de *grado* para la red de flujo de dinero. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de *grado*. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.

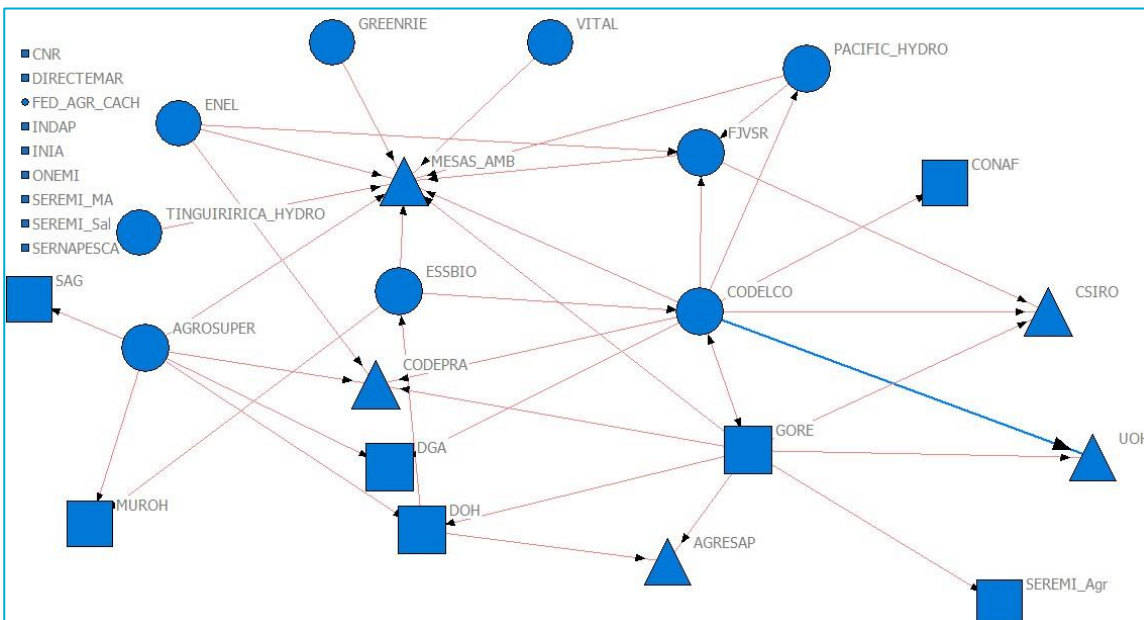


Figura 27. Centralidad de *cercanía* para la red de flujo de dinero. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de *cercanía*. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.

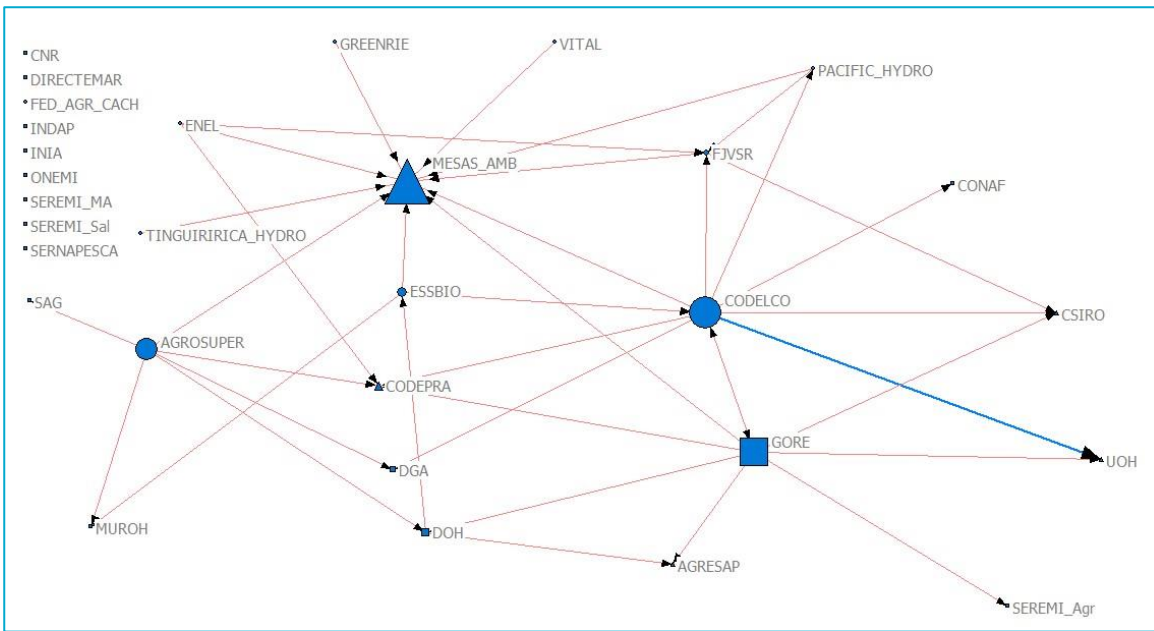


Figura 28. Centralidad de *intermediación* para la red de flujo de dinero. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de intermediación. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.

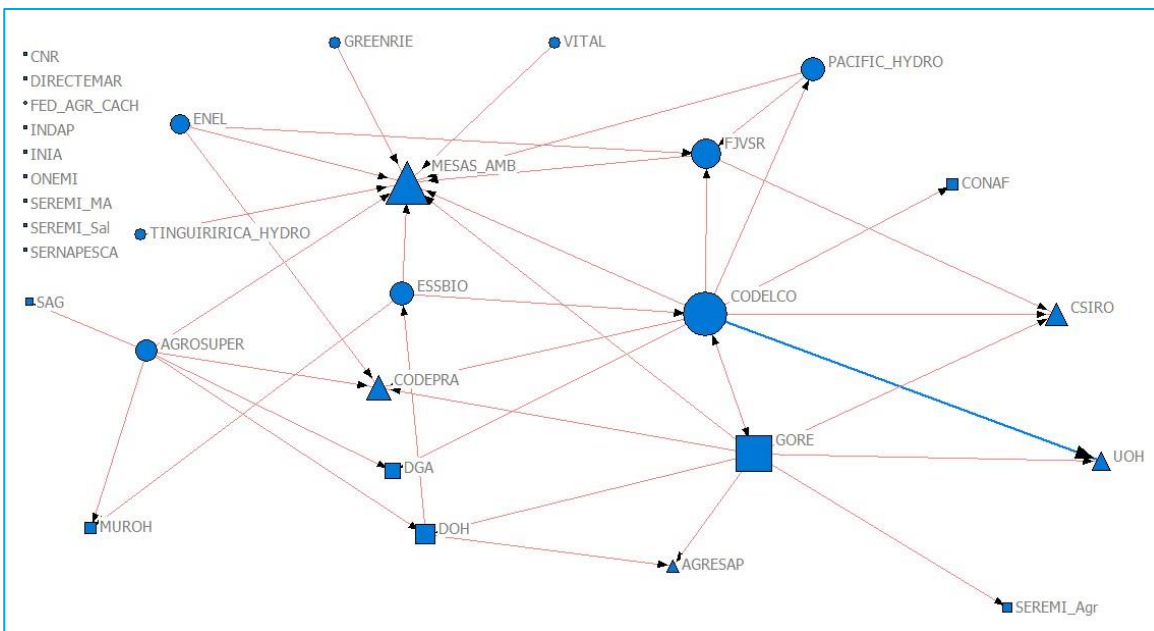


Figura 29. Centralidad de *valor propio* para la red de flujo de dinero. Tamaño de los símbolos proporcional a la centralidad de valor propio. Conexiones azules: frecuencia semestral o mayor, conexiones rojas: frecuencia semestral o menor.

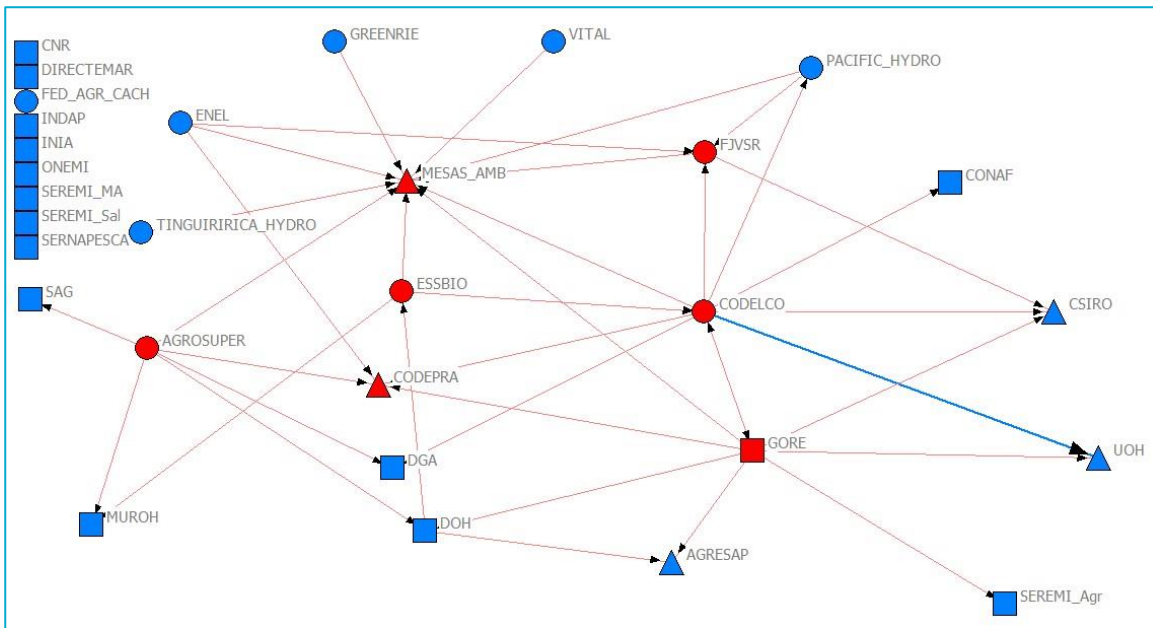


Figura 30. Núcleo-periferia para la red de flujo de dinero en la CRR.

Discusión de resultados

Las métricas analizadas en las redes de la CRR indican que las tres redes (información, colaboración y financiamiento) habilitadoras de la gobernanza colaborativa de agua (CWG) estaban débilmente conectadas. Esto sugiere que existe un gran potencial para promover aún más la comunicación, el intercambio de información y generación de conocimiento (Bodin y Crona, 2009; Crona y Bodín, 2006) para habilitar CWG en la CRR. Los primeros talleres participativos mostraron bajos niveles de interacción previa con las partes interesadas y una falta de identidad de red, lo que confirma un desempeño limitado en términos de capacidad de adaptación para la CWG (Chaffin et al., 2016).

Tanto para los lazos de colaboración como para las redes de flujos de información se observaron dos niveles de frecuencia. Como destacan Prell et al. (2009), las ideas novedosas viajan mejor a través de comunicaciones menos frecuentes (vínculos débiles), mientras que se suele observar una redundancia de información para comunicaciones más frecuentes. Por lo tanto, se puede argumentar que, al experimentar interacciones de alta y baja frecuencia entre las partes interesadas, el GA se encuentra en una posición privilegiada para el intercambio de información y la discusión de ideas innovadoras sin la necesidad de incluir una gran cohorte de partes interesadas.

Los valores de centralización (hasta un 35%) indican estructuras de red débilmente centralizadas en las tres redes que habilitan CWG. Las investigaciones muestran que las redes fuertemente centralizadas son efectivas para construir apoyo a la acción colectiva, pero muestran desventajas para la planificación del agua a largo plazo y la resolución de problemas (Prell et al., 2010; Crona y Bodín, 2006).

Entonces se puede argumentar que las redes de flujos de información y lazos de colaboración en la CRR presentan ventajas hacia el logro de los objetivos de planificación hídrica a largo plazo para el CWG, pero podría enfrentar dificultades para iniciar una acción colectiva contra los desafíos relacionados con el agua (por ejemplo, los impactos del cambio climático). Esta situación enfatiza el papel que las partes interesadas individuales podrían tener como intermediarios en sus redes correspondientes para facilitar u obstaculizar el CWG (Bodin et al, 2006; Vignola et al, 2013).

La red de intercambios financieros se caracteriza por la menor densidad, centralización, reciprocidad y frecuencia de los vínculos entre las partes interesadas. Por lo tanto, esta red es particularmente vulnerable

a fragmentación de la conexión de las partes interesadas y posiblemente no es un entorno adecuado para fomentar la confianza entre las partes interesadas en el contexto del CWG (Chaffin et al, 2016; Prell et al, 2009).

En todas las redes analizadas, observamos un grupo diverso de actores de los sectores público, privado y académico / sociedad civil, con conexiones más allá de sectores específicos. El modelado centro-periferia identificó a las partes interesadas de los tres sectores como parte de la estructura central de las redes, por lo que no muestra ningún sesgo hacia ningún sector específico. Sandström y Rova (2010) sugirieron ambas características (es decir, la diversidad de las partes interesadas e intercambio) como propiedades clave que describen la "heterogeneidad de la red". Al mismo tiempo, describieron el "cierre de la red" (es decir, estructuras de red que están bien integradas a través de muchas conexiones o actores puente) como un concepto clave relacionado con la capacidad de adaptación de las redes sociales. Ambas redes heterogeneidad y el cierre (expresado empíricamente por la densidad y centralidad de la red) se describen como fundamentales propiedades que permitan la capacidad de adaptación para la gestión de los recursos naturales (Sandström y Rova, 2010). Se puede argumentar que la heterogeneidad es alta en las redes que habilitan el CWG en la CRR, lo que sugiere un alto potencial de solución innovadora de problemas, mientras que el cierre de la red es el atributo de debilitamiento, lo que restringe la capacidad de adaptación de las partes interesadas en la CRR (Sandström y Rova, 2010).

Los resultados sugieren que diferentes partes interesadas desempeñan roles clave en redes específicas, mientras que potencialmente tienen roles secundarios en otras redes. Por lo tanto, aunque algunos de las partes interesadas pueden tener un papel relevante en solo una de las tres redes que habilitan el CWG, esta relevancia podría justificar la participación en iniciativas del CWG. La mayoría de las partes interesadas se encuentran en el núcleo de al menos dos redes habilitadoras de CWG. Las excepciones son ASPROEX y ENEL (sector privado), MUROH (sector público) y AGRESAP y UOH (academia / sociedad civil), que ocupan principalmente roles secundarios. Por tanto, es necesario analizar las conexiones, los intereses y la influencia de estas partes interesadas para consolidar y fortalecer su participación en cualquier esfuerzo futuro que tenga como objetivo el CWG en la CRR.

Cabe señalar que la organización ciudadano-pública (Mesas Ambientales) relacionada con el monitoreo ambiental y la evaluación no incluida originalmente en los actores clave seleccionados, ocupa el primer lugar en la mayoría de las métricas de centralidad en todas las redes que habilitan CWG. Curiosamente, estas organizaciones muestran un papel de intermediación (alta centralidad de intermediación) en las tres redes, por lo que conecta partes de la red que de otro modo no estarían conectadas. Esto destaca su papel potencial en la movilización y difusión de información o datos, esfuerzos de colaboración y recursos financieros para la red más amplia (Prell et al, 2010; Lienert et al, 2013). Según Bodin et al. (2006) y Vignola et al. (2013), esto otorgaría a MESAS_AMB un papel crítico en estas redes para el CWG en la CRR.

La cohorte de partes interesadas representa una excelente primera iteración para crear un organismo que lidera e inicia una instancia colaborativa de gobernanza del agua en la CRR. Sin embargo, las partes interesadas adicionales sugeridas a través del enfoque participativo muestran un valor agregado limitado en términos de promoción de redes habilitadoras de CWG. La excepción a esto es la inclusión de las organizaciones públicas-ciudadanas, que mostró un valioso papel de corretaje y conexión en las redes analizadas.

Las redes de habilitación de CWG en toda la CRR han demostrado que es necesario hacer mucho para fortalecer las condiciones iniciales del marco que sustenta el CWG en la cuenca. En particular, es necesario aumentar la conectividad entre las partes interesadas (densidades de rojo) para minimizar los posibles

desequilibrios de poder, recursos y conocimiento en la CRR²⁹. Si bien en la CRR existe una historia de vínculos de colaboración y flujo de información, las métricas de centralidad indican que el aumento de la densidad / conectividad de estas redes fortalecería estos aspectos y, por lo tanto, proporcionaría una base más sólida para iniciar el CWG en la cuenca.

En términos de incentivos / limitaciones para la participación, la red de intercambios financieros sugiere que los recursos se distribuyen en una cohorte limitada de partes interesadas con muy baja reciprocidad y densidad, con un número limitado de partes interesadas que actúan como donantes. Este último grupo, hace esfuerzos para financiar formalmente iniciativas del CWG particularmente vulnerables a la fragmentación de las partes interesadas, donde los incentivos financieros para la participación no alcanzan la extensión completa de los actores clave de las partes interesadas.

En términos de liderazgo facilitador, identificamos a las partes interesadas de los sectores público, privado y académico / de la sociedad civil que desempeñan funciones destacadas en las redes de habilitación del CWG: roles que conectan a las partes interesadas periféricas como organizaciones sociales-públicas ambientales, los guardianes de la información y los custodios de datos (DGA), roles proximales para la relevancia de los lazos de colaboración (FJVS y SEREMI Medio Ambiente / Agricultura) y control sobre flujos de materiales de atributos (CODELCO, GORE y AGROSUPER). Sin embargo, este liderazgo no está formalizado como un organismo de cuenca en la CRR. Este es probablemente uno de los principales desafíos de implementación del CWG para superar la falta de coordinación entre las partes interesadas y necesidades de resolución de conflictos (Harrington, 2017; Holley y Sinclair, 2013). Al mismo tiempo, se identificó una cohorte de partes interesadas de manera persistente ubicadas en la periferia de las redes de habilitación del CWG que tienen roles secundarios, en su mayoría compuestos por actores públicos y académicos / de la sociedad civil. Un importante desafío de implementación del CWG sería aumentar la conectividad y la centralidad de estas partes interesadas para aumentar la movilización de recursos e información y promover la comunicación y la colaboración (Chaffin et al, 2016). Una estrategia potencial sería crear grupos temáticos guiados por el nivel de influencia / interés en elementos comunes de la visión compartida (por ejemplo, CODELCO y AGRESAP).

Se reconoce que no solo la estructura de las redes sociales puede cambiar con el tiempo, sino también los contenidos e intensidades de lo que se transfiere a través de ellas (Bodin y Crona, 2009). Por lo tanto, no se observa los desafíos de implementación del CWG en la CRR como obstáculos estáticos, sino más bien como barreras en evolución que deben abordarse aumentando la capacidad de adaptación a lo largo del tiempo (Ogada et al, 2017; Chaffin et al, 2016).

4.1.3 Comparación de los diferentes análisis de actores empleados

Cuando se comparan las métricas analizadas en el análisis de redes sociales con el mapeo de interés-influencia (Figura 15) se puede observar algunos patrones. En general, las partes interesadas mejor clasificadas en diferentes métricas de centralidad se encuentran principalmente en el cuadrante de alta influencia-alto interés, además, para aquellas partes interesadas ubicadas alrededor de la parte central del mapeo de interés-influencia (por ejemplo, ENEL, ESSBIO y PACIFIC HYDRO), la métrica de centralidad es generalmente de acuerdo con su ubicación relativa. Curiosamente, la conectividad, la proximidad y la relevancia más débiles en los vínculos de colaboración y las redes de flujo de información sugerirían un movimiento hacia el cuadrante de baja influencia-bajo interés para algunas partes interesadas (por ejemplo, UOH y MUOH).

²⁹ Ver por ejemplo Harrington, 2017; Holley y Sinclair, 2013; Chaffin et al, 2016.

Al mismo tiempo, algunas partes interesadas percibidas como de gran influencia e interés en la Figura 15 ocupan el último lugar en las métricas de centralidad (por ejemplo, ASPROEX y AGRESAP), lo que sugiere un desacuerdo entre ambas técnicas de análisis.

En términos de posiciones relativas de las partes interesadas, CODELCO tiene una posición más influyente en todas las redes que habilitan el CWG en comparación con otras partes interesadas (por ejemplo, FJVSR, DGA), mientras que las métricas de centralidad para ASPROEX contradice su ubicación relativa más alta en el cuadrante de alta influencia-alto interés. Aunque no se incluye aquí, un análisis centro-periferia basado en particiones (Borgatti y Everett, 2000) indica que las siguientes partes interesadas están ubicadas persistentemente en la periferia de las redes que habilitan el CWG: ASPROEX y ENEL (sector privado), MUROH (sector público) y UOH (sector académico / sociedad civil).

Nuestros resultados muestran un desacuerdo parcial entre las partes interesadas percibidas como de gran influencia e interés, mientras que se encuentran en el último lugar en las métricas de centralidad y tienen roles periféricos en las redes analizadas. No vemos esto como una desventaja, sino más bien como información complementaria más profunda sobre las partes interesadas relaciones y roles en estas redes. Varios autores han demostrado el valor de complementar técnicas cuantitativas y cualitativas para descifrar los roles y funciones de las partes interesadas en diferentes disciplinas (Prell et al, 2009; Lienert et al, 2013; Ruzol et al, 2017; dos Muchangos et al, 2017; Blanc et al, 2018).

4.2 Visión compartida

4.2.1 Elementos de la visión compartida y su narrativa

El proceso de trabajo y refinado de los elementos preliminares de la visión por parte del Grupo Asesor y el equipo del proyecto, fue validado durante los talleres de trabajo y aprobado por los actores clave. Este proceso permitió identificar cinco dimensiones de la GIRH de relevancia para las partes interesadas: a) disponibilidad de agua, b) uso del agua, c) institucionalidad, d) medio ambiente, y e) sociedad. Cada uno de estos elementos contó con dos o más aspectos específicos relacionados a dichas dimensiones. La Figura 31 resume las dimensiones y los elementos priorizados y validados por parte de los actores para la CRR.

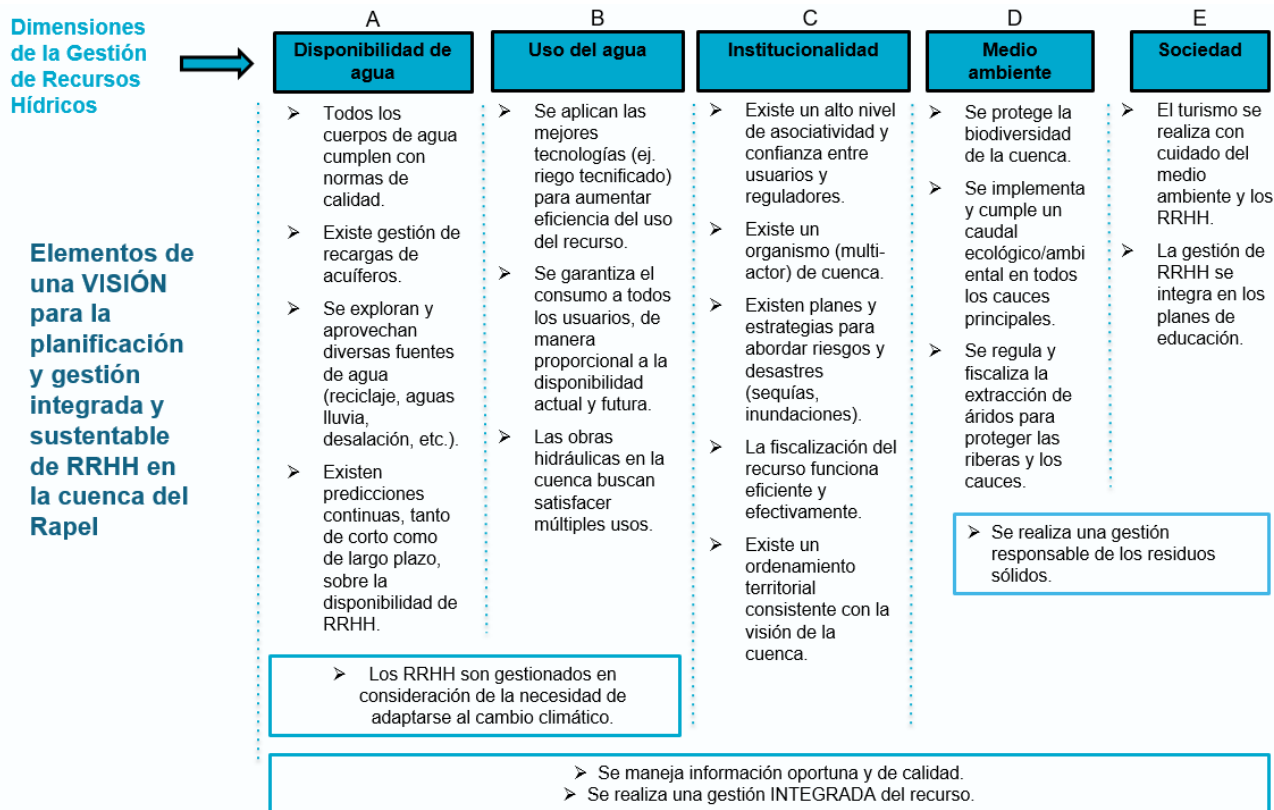


Figura 31. Dimensiones y elementos de la visión para la CRR.

Es importante destacar que ciertos elementos identificados durante el proceso participativo para el desarrollo de la visión compartida, por ejemplo, mejorar la cultura del agua mediante programas educativos, afianzar la regulación y/o legislación sobre la gestión de los recursos hídricos, escapan al alcance de las herramientas de gestión propuestas en este proyecto. Por lo tanto, es de esperar que ciertos aspectos de la visión sean alcanzados solamente mediante medidas y/o herramientas de carácter estructural de largo plazo y de naturaleza política.

Sobre la base de los elementos identificados, la narrativa de visión compartida fue resumida como sigue:

En el 2050, la cuenca de Rapel tendrá una gestión integrada de los recursos hídricos. Por medio de un organismo de cuenca, las decisiones serán tomadas de manera coordinada, considerando las necesidades ambientales, sociales y económicas e involucrando a todos los sectores relevantes en una atmósfera de asociatividad y confianza. La calidad del agua cumplirá con todas las normas a lo largo de la cuenca y con el fin de garantizar el consumo a todos los usuarios, se utilizarán de manera eficiente diversas fuentes de agua y la infraestructura, siempre en función de la disponibilidad actual y futura del recurso. La evaluación y planificación del recurso será transparente, utilizando ciencia y tecnología para abordar los riesgos naturales y adaptarse al cambio climático.

4.2.2 Influencia de los actores sobre la visión

Para el análisis de la influencia que los actores poseen para el alcance de los 21 elementos de la visión descritos en la Tabla 15, los entrevistados reportaron tres niveles de influencia (nulo, bajo y alto). Las Figuras 32 y Figura 33 muestran los niveles de influencia bajo y alto, respectivamente.

Tabla 15. Descripción de los elementos de la visión utilizados en el análisis de redes para la CRR.

Id	Descripción
E1	Todos los cuerpos de agua cumplen con las normas de calidad
E2	Existe gestión de recargas de acuíferos
E3	Se exploran y aprovechan diversas fuentes de agua (ej. Reciclaje/reuso de aguas, aguas lluvia, desalación, etc.)
E4	Existen predicciones continuas, tanto de corto como de largo plazo, sobre la disponibilidad de los recursos hídricos
E5	Los recursos hídricos son gestionados considerando la necesidad de adaptarse al cambio climático
E6	Se aplican las mejores tecnologías (ej. riego tecnificado) para aumentar eficiencia del uso del recurso
E7	Se garantiza el consumo a todos los usuarios de manera proporcional a la disponibilidad actual y futura
E8	Las obras hidráulicas en la cuenca buscan satisfacer múltiples usos
E9	Existe un alto nivel de asociatividad y confianza entre usuarios y reguladores
E10	Existe un organismo de cuenca (multi-actor)
E11	Existen planes y estrategias para abordar riesgos y desastres naturales (ej. sequías, inundaciones)
E12	La fiscalización del recurso funciona eficiente y efectivamente
E13	Existe un ordenamiento territorial consistente con la visión de la cuenca
E14	Se protege la biodiversidad de la cuenca
E15	Se implementa y cumple un caudal ecológico/ambiental en todos los cauces principales
E16	Se regula y fiscaliza la extracción de áridos para proteger las riberas y los cauces
E17	Se realiza una gestión responsable de los residuos sólidos
E18	El turismo se realiza con cuidado del medio ambiente y los RRHH
E19	La gestión de RRHH se integra en los planes de educación
E20	Se maneja información oportuna y de calidad
E21	Se realiza una gestión integrada del recurso

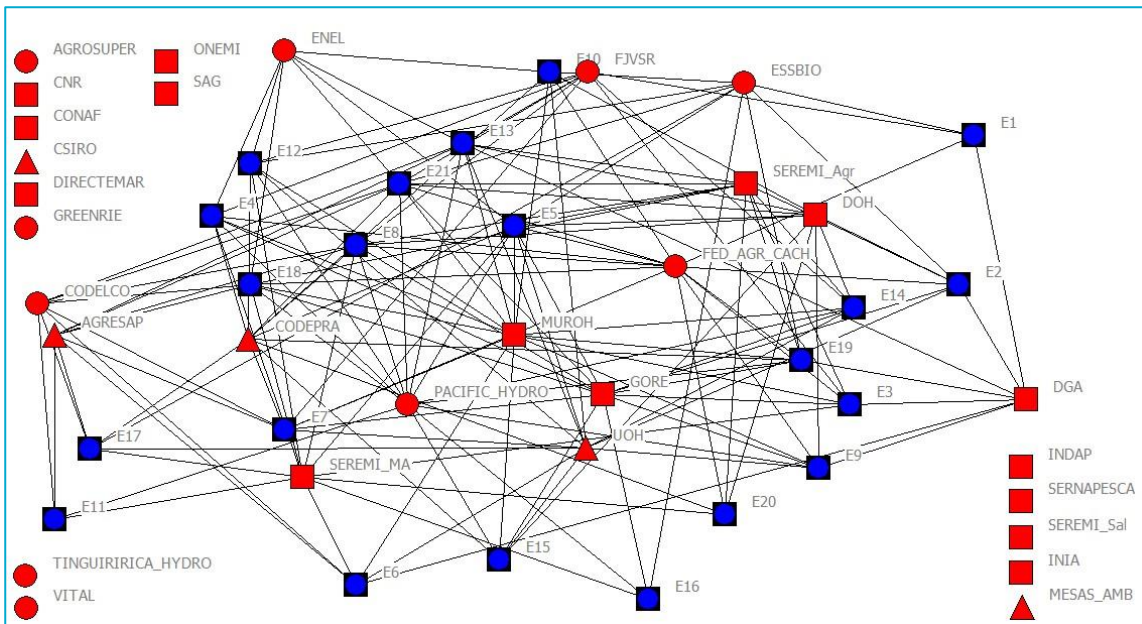


Figura 32. Red de baja influencia para el alcance de los elementos de la visión de la CRR.

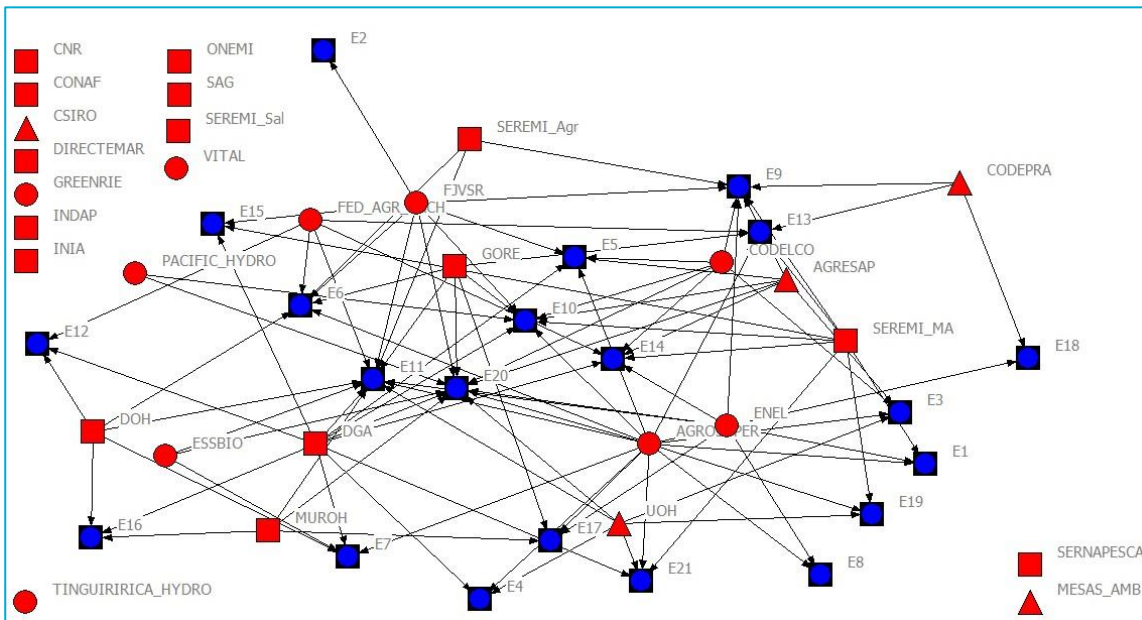


Figura 33. Red de alta influencia para el alcance de los elementos de la visión de la CRR.

La red de baja influencia (Figura 32) indica un agrupamiento de los actores y elementos de la visión. Los actores localizados al centro de la red presentan un alto grado de conexiones con una baja influencia. Estos actores son: CODEPRA, SEREMI MA, PACIFIC HYDRO, MUROH, UOH, GORE, FED_AGR_CACH, SEREMI Agr y DOH. Al mismo tiempo, los elementos de la visión que se ubican al centro de la red son: E3, E5, E7, E8, E13, E14, E18, E19, E21.

De la Figura 32 es posible identificar tres grupos de actores que comparten intereses similares en términos de la (baja) influencia que declaran en cuanto al alcance de los elementos de la visión, los cuales se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16. Grupos originados para la red de baja influencia en el alcance de los elementos de la visión de la CRR.

Grupos	Actores	Elementos de la visión
Grupo 1	CODELCO AGRESAP	E6, E7, E8, E11, E13, E17 y E18
Grupo 2	PACIFIC HYDRO SEREMI MA MUROH GORE UOH CODEPRA	E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10, E11, E12, E13, E14, E15, E16, E17, E18, E19, E20, E21
Grupo 3	FJVSR FED_AGR_CACH SEREMI Agr DOH ESSBIO	E1, E2, E3, E4,

La red describiendo aquellos actores que declaran una alta influencia para alcanzar los elementos de la visión se muestra en la Figura 33. Al igual que en el caso de baja influencia, existe un núcleo de actores y elementos de la visión identificables en la red. Los actores centrales con una alta influencia corresponden a: DGA, AGROSUPER, ENEL, CODELCO, AGRESAP, GORE y en menor grado FJVSR, ESSBIO, SEREMI MA y UOH. Los elementos de la visión identificados en el centro de la red de alta influencia corresponden a:

- E5: Los recursos hídricos son gestionados considerando la necesidad de adaptarse al cambio climático.
- E6: Se aplican las mejores tecnologías (ej. riego tecnificado) para aumentar eficiencia del uso del recurso.
- E10: Existe un organismo de cuenca (multi-actor).
- E11: Existen planes y estrategias para abordar riesgos y desastres naturales (ej. sequías, inundaciones).
- E14: Se protege la biodiversidad de la cuenca.
- E20: Se maneja información oportuna y de calidad.

Alternativamente, la relación de dos modas (actores-elementos) puede ser reclasificada para describir aquellos actores que presentan influencias similares sobre los elementos de la visión, y los elementos de la visión que concentran el mayor interés por parte de los actores. Estas relaciones se muestran en las Figuras 34 y 35.

Claramente, existe un grupo de actores que presentan intereses similares en términos del alcance de los elementos de la visión los cuales representan el núcleo de la red de la Figura 34. Estos actores son: GORE, AGROSUPER, FJVSR, ENEL, DGA, SEREMI Agr, FED_AGR_CACH, CODELCO, AGRESAP y en menor grado SEREMI MA.

Para los elementos de la visión con baja influencia de los actores (Figura 35), la reclasificación entrega además de los elementos identificados anteriormente, los siguientes:

- E9: Existe un alto nivel de asociatividad y confianza entre usuarios y reguladores.
- E15: Se implementa y cumple un caudal ecológico/ambiental en todos los cauces principales.
- E21: Se realiza una gestión integrada del recurso.

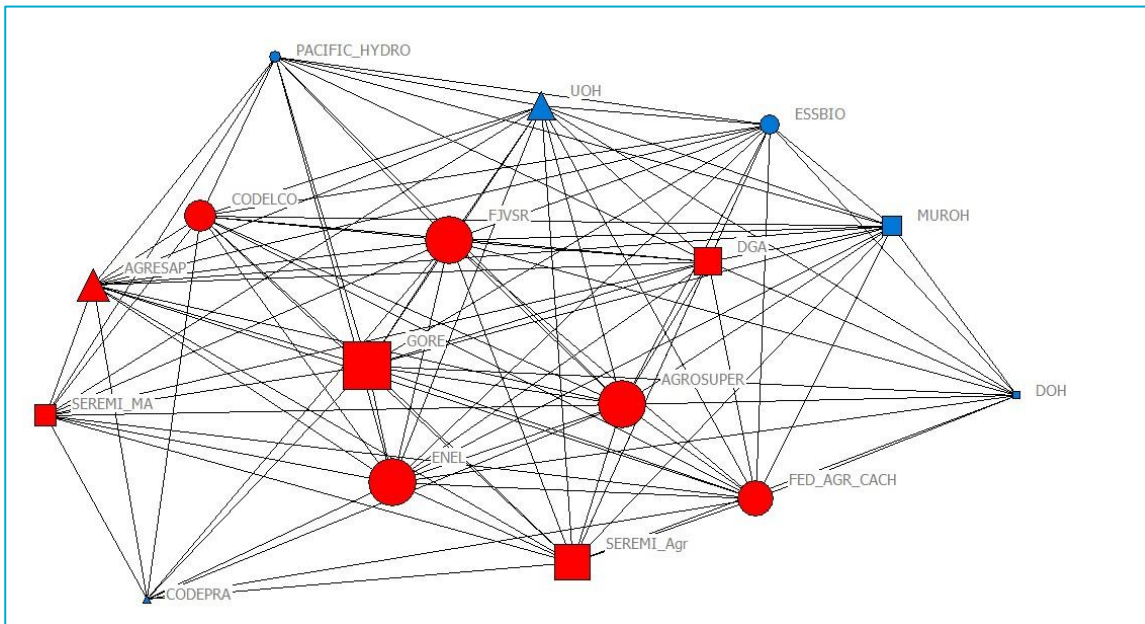


Figura 34. Reclasificación de actores con alta influencia en el alcance de los elementos de la visión.

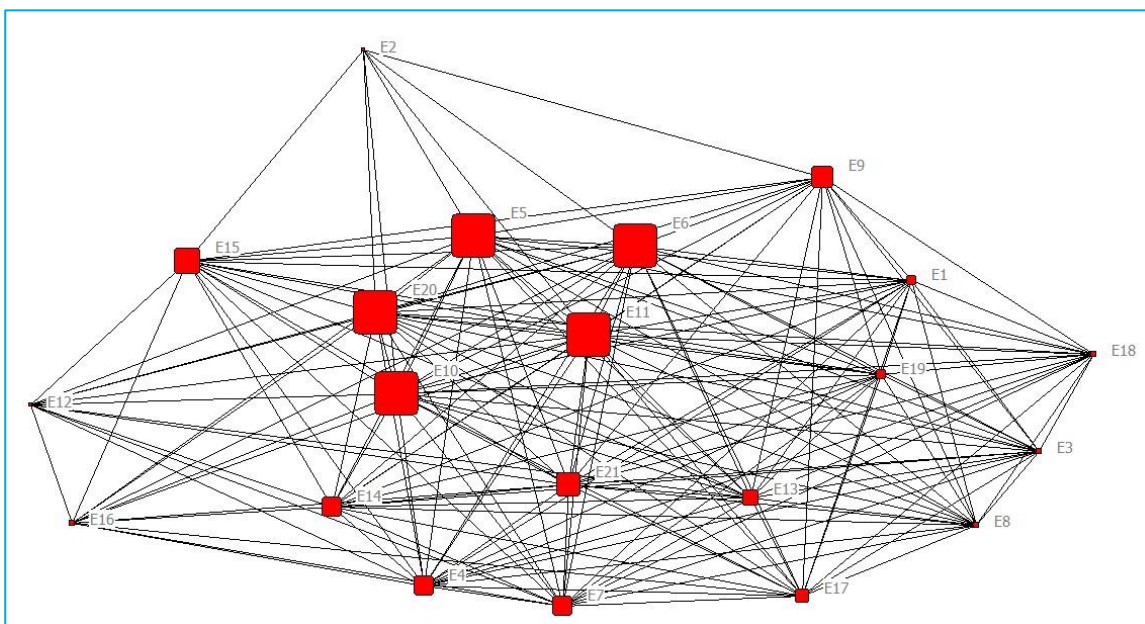


Figura 35. Reclasificación de actores con baja influencia en el alcance de los elementos de la visión.

Discusión de resultados

La construcción conjunta de la visión compartida ayudó a crear consenso y conciencia sobre los desafíos relacionados con el agua y promovió una visión sistémica de la CRR bajo el paraguas del CWG. Por lo tanto, se puede argumentar que se contribuyó a aumentar la interdependencia y la conciencia de las partes interesadas acerca de sus roles relacionados con el agua en la cuenca: la interdependencia y la conciencia de ambas partes interesadas son características clave del aprendizaje social.

En general, las partes interesadas muestran una similitud débil (por debajo del 50%) sobre qué elementos de la visión comunes tienen influencia, y solo unas pocas partes interesadas muestran similitudes superiores al 50% (es decir, coinciden en su influencia sobre al menos la mitad de los mismos elementos de la visión compartida). La agrupación sugiere que las partes interesadas pertenecientes a los sectores privado, público y de la sociedad civil / academia estén de acuerdo en declarar una influencia baja para lograr elementos similares de la visión compartida. Curiosamente, la DGA muestra una gran influencia en elementos de la visión; sin embargo, no coincide fuertemente con otras partes interesadas de la CRR. En términos de la conectividad de la red, es interesante notar el papel de puente de FJVSR en la red de alta influencia entre los sectores público, privado y académico / sociedad civil.

Aspectos de la visión relacionados con el agua y el medio ambiente (cumplimiento de la calidad del agua y caudales) fueron identificados como los menos influenciados por las partes interesadas, mientras que el agua y las instituciones y la disponibilidad de agua son las más influenciadas. Esta distinción podría estar relacionada con la situación actual en la CRR, donde las sequías persistentes han cambiado la discusión entre las partes interesadas hacia la disponibilidad o uso del agua en lugar del cumplimiento de la calidad del agua y la regulación ambiental.

4.3 Herramienta SimRapel

SimRapel³⁰, por primera vez, permite a los actores de la cuenca explorar y analizar de manera interactiva los impactos de sus decisiones (o inacción) de manera anticipada y transparente en la sustentabilidad ambiental, equidad social y eficiencia económica de la cuenca. La herramienta permite explorar una diversidad de estrategias hídricas simuladas (o combinaciones de ellas) a través de un navegador web. Las estrategias hídricas simuladas fueron definidas por los actores de la cuenca. Puede ser operada interactivamente por un usuario o (idealmente) un grupo de usuarios, en reuniones de coordinación, talleres participativos, u otro tipo de actividades que congreguen a múltiples actores.

Se ha implementado, probado y aplicado un marco de modelado integrado para la CRR utilizando herramientas de modelado preexistentes disponibles a partir de estudios preliminares. El marco de modelado integrado empleó modelos SWAT, MAGIC y MODFLOW. Estos modelos se han utilizado "tal cual" y, por lo tanto, en este proyecto no se ha realizado ninguna recalibración ni revalidación formal de estas herramientas. Estas actividades estaban más allá del alcance de este trabajo.

La herramienta contiene los resultados pre-ejecutados de dieciséis escenarios hídricos modelados. Estos resultados se presentan al usuario para ser explorados de dos formas: una estrategia a la vez utilizando la interfaz de mapa principal, o usando el visualizador de datos globales para comparar los resultados de estrategias diferentes. Más datos y mapas geoespaciales están disponibles cuando se exploran estos resultados de una estrategia a la vez, mientras la comparación de datos disponible en el visualizador de datos globales permite comparar estrategias de casi todos los sets de datos sin la capacidad de mapear dichos resultados. Estas formas de exploración de resultados pueden ser utilizadas para informar la discusión sobre las prácticas y políticas de manejo futuras en la CRR.

Se han actualizado estas herramientas de modelado para tener en cuenta las condiciones hidrológicas históricas extendidas, las tendencias del cambio climático y una serie de estrategias agrupadas en torno a: mejoras en la eficiencia intrapredial de riego; evaluación de tres nuevos embalses en las Cayanás, Bollenar y

³⁰ Descargar herramienta en: <https://research.csiro.au/gestionrapel/proyectos-simrapel-modelacion-participativa-para-la-gobernanza-del-agua/>

Río Claro-Tinguiririca; e implementación de estrategias de recarga de acuíferos gestionada (RAG). También se ha considerado una serie de mejoras y actualizaciones sobre los modelos originales (por ejemplo, actualización al último catastro de explotación de aguas subterráneas, mejora de la representación topológica de los reservorios, mejora del balance hídrico para el reservorio Convento Viejo, contabilización de las pérdidas de los tramos de los ríos) para mejorar la consistencia y representatividad de los resultados del modelado.

El marco de modelado integrado se ha envuelto en torno a la herramienta SimRapel, que es una herramienta flexible que permite la visualización de resultados en una interfaz o plataforma intuitiva y fácil de usar.

4.3.1 Modelación integrada

Se simuló un total equivalente de 608 años (38 años x 16 escenarios) utilizando la cadena de modelado que produce más de 25 Gb de resultados agregados. En las siguientes secciones se presenta los resultados más relevantes. Los lectores están invitados a utilizar la herramienta SimRapel para explorar el conjunto completo de resultados disponibles.

Validación del acoplamiento MAGIC-MODFLOW

Los modelos MAGIC y MODFLOW calculan los componentes del flujo de agua subterránea relacionados con las tasas de infiltración y recuperaciones de los tramos de los ríos. MAGIC incluye una ecuación de continuidad / balance de masa más rudimentaria en comparación con los cálculos numéricos más avanzados implementados en los modelos MODFLOW. Vale la pena enfatizar que el modelo original de MAGIC Rapel (Pagliero y Zambrano-Bigiarini, 2016) no consideró infiltraciones ni recuperaciones en la topología del río, ya que los valores de la conductividad hidráulica del cauce se establecieron en 0 m/día en todos los tramos del río. Por lo tanto, fue necesario actualizar la interacción acuífero-río en MAGIC Rapel con información relacionada con las geometrías del río y las propiedades hidráulicas del cauce del río.

Para fines de continuidad y un adecuado acoplamiento físico de los modelos MAGIC y MODFLOW, tanto la infiltración como las recuperaciones en tramos de río (estimadas por MAGIC y MODFLOW) deben ser de un orden de magnitud similar para cerrar satisfactoriamente el balance hídrico. Para asegurar esto, se empleó el período de línea de base (1979-2016) con la misma configuración de modelo para MAGIC Rapel que en Pagliero y Zambrano-Bigiarini (2016) para evaluar la validez de la conectividad entre MAGIC Rapel y los modelos MODFLOW desarrollados para los acuíferos Cachapoal y Tinguiririca. En un primer paso, se actualizó la información sobre longitud y ancho de tramos de río y conductividad hidráulica de depósitos de cauce en MAGIC Rapel. Los dos primeros valores se aproximaron a partir de imágenes de satélite, mientras que el segundo (conductividad hidráulica del lecho del río) se modificó manualmente dentro de rangos basados en la física. Después de un proceso iterativo, los valores de conductividades hidráulicas del lecho del río en MAGIC Rapel variaron entre 0.01 y 1.0 m/día. Este rango podría considerarse conservador dados los resultados experimentales in situ obtenidos de los ríos Ibáñez y Huina en el sur de Chile (Oñat, 2016). Los valores de infiltración y recuperación de ríos para el período de línea de base para MAGIC Rapel, los resultados de calibración de estado estable a largo plazo de MODFLOW de DICTUC (2005) y el análisis más reciente presentado en este informe se muestran en la Tabla 17.

La infiltración de los ríos muestra una buena concordancia para los modelos MAGIC Rapel y MODFLOW para las subcuencas de Cachapoal y Tinguiririca. Al mismo tiempo, las recuperaciones fluviales son similares para la subcuenca Tinguiririca, mientras que difieren en 7 m³/s en la subcuenca Cachapoal. El supuesto intrínseco en esta comparación es que las estimaciones de infiltración y recuperación de ríos son más precisas en los resultados basados en MODFLOW, ya que representan condiciones históricas a largo plazo y se basan en un modelo conceptual más sólido (basado físicamente) para las interacciones río-acuífero. Sin embargo, podrían

surgir discrepancias entre ambos modelos, ya que la calibración de los modelos MODFLOW realizada por DICTUC (2005) no incluyó una estimación explícita de las tasas de recarga debidas al riego. Este último es un componente importante del balance hídrico en la subcuenca del Tinguiririca, que potencialmente podría conducir a mayores volúmenes disponibles para descargas de acuíferos en ríos (recuperaciones). No obstante, estas discrepancias, las estimaciones de las recuperaciones fluviales de MODFLOW (Cachapoal) y MAGIC (Rapel) están en el mismo orden de magnitud. Estos resultados brindan garantía de que ambos modelos están cerrando aproximadamente el balance hídrico para las interacciones acuífero-río y, por lo tanto, pueden acoplarse para un análisis integrado utilizando la cadena de modelado SWAT-MAGIC-MODFLOW. Existe un nivel de incertidumbre asociado a las condiciones de modelado para cada estudio mencionado en la Tabla 17, sin embargo, estos resultados se estiman razonables dadas las limitaciones en el alcance del presente estudio.

Tabla 17. Infiltración y recuperación de ríos para la calibración de estado estable MODFLOW de DICTUC (2005) versus resultados de línea base para los modelos MAGIC Rapel y MODFLOW para las subcuencas de Cachapoal, Tinguiririca y Alhué (CSIRO, 2021). Subcuenca de Alhué no consideró información de conductividades de cauce en MAGIC Rapel.

Acuíferos	MODFLOW (DICTUC, 2005)		MAGIC Rapel (CSIRO, 2021)		MODFLOW (CSIRO, 2021)	
	Infiltración del río m ³ /s	Recuperaciones del río m ³ /s	Infiltración del río m ³ /s	Recuperaciones del río m ³ /s	Infiltración del río m ³ /s	Recuperaciones del río m ³ /s
Cachapoal	6,03	13,06	6,72	20,18	5,79	16,83
Tinguiririca	1,78	9,91	1,89	8,89	1,33	18,95
Alhué	0,01	2,00	n/a	n/a	0,05	1,38

Resultados modelación SWAT

Las descargas generadas por el modelo hidrológico SWAT se muestran en la Figura 36. Los valores de descarga promedio anual para el período de 38 años varían entre 1 y 181 m³/s en las subcuencas con un valor promedio cercano a 32 m³/s, y un promedio acumulado anual rendimiento de agua de 2122 m³/s en la CRR para la hidrología histórica (Escenario 1, Figura 36a). Cuando se considera la tendencia del cambio climático en el análisis (Escenario 2, Figura 36a), las descargas promedio anuales de las subcuencas varían entre 0,7 y 118 m³/s, con un valor promedio de 22 m³/s, y un rendimiento hídrico acumulado anual promedio de 1465 m³/s. La tendencia del cambio climático se traduce en una reducción promedio del 33% en las descargas simuladas en toda la cuenca con un rango entre 22% y 67%, siendo la reducción proporcional más relevante durante los años de caudales bajos (Figura 36b). Especialmente, las reducciones en los caudales promedio anuales (por encima de la reducción promedio del 33%) se concentran en las subcuencas intermedias que aportan los ríos Cachapoal y Tinguiririca (ríos Las Cadenas, Claro (Rengo), Antivero-Zamorano y Chimbarongo), subcuenca Alhué, sector Marchigue y salida de la cuenca (Figura 37).

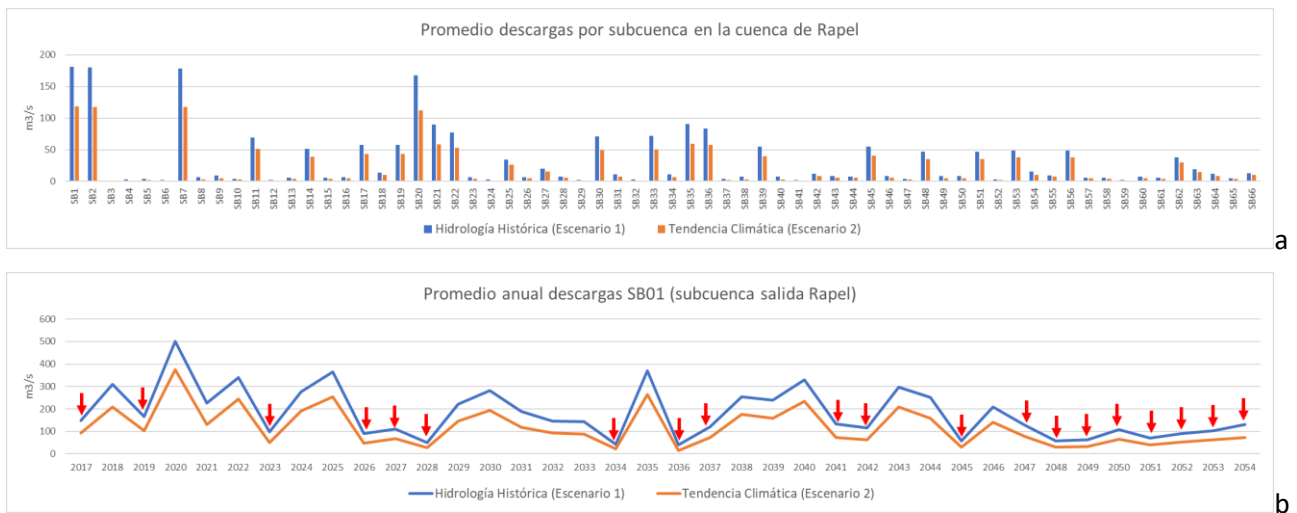


Figura 36. Resultados de hidrología histórica (Escenario 1) y tendencia de cambio climático (Escenario 2) para: a) cada una de las 66 subcuencas; y b) período de 38 años para la subcuenca de salida SB-01, Rapel.

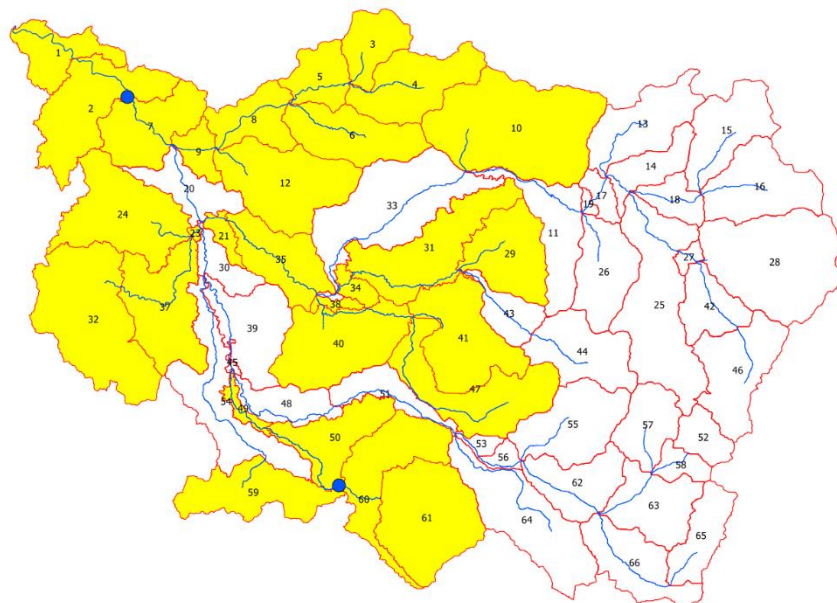


Figura 37. Subcuencas y reducciones promedio según escenarios. Subcuencas que muestran una reducción porcentual mayor que el promedio del 33% (resaltado en amarillo) al comparar la hidrología histórica (Escenario 1) con la tendencia del cambio climático (Escenario 2).

Resultados modelación MAGIC

Los resultados de las simulaciones hidrológicas en SWAT (descargas en cuencas no calibradas y precipitación distribuida y evapotranspiración) se utilizaron como impulsores para el modelado MAGIC.

Seguridad de riego

Uno de los aspectos más relevantes identificados por los grupos de interés correspondió a la seguridad del riego en la CRR bajo diferentes escenarios operativos. La seguridad de riego se obtiene como la relación entre la demanda total suministrada y el caudal total requerido para la zona de riego. La Figura 38 muestra un gráfico de radar de la seguridad de riego para las 12 zonas de riego consideradas para los primeros 8 escenarios analizados. A partir de esta figura se observa que la seguridad de riego puede alcanzar valores tan bajos como 0,56 y valores cercanos a 1, lo que indica una satisfacción casi total de las demandas de riego

para determinadas zonas. En toda la cuenca y escenarios, la seguridad de riego alcanza un valor promedio de 0,79 [0,71-0,85] para el período analizado.

Existe una variabilidad observable con respecto a la seguridad del riego para cada zona, con la zona de peor desempeño identificada como ZR-14 (subcuenca de Alhué, Figura 12), que alcanza un valor promedio de 0.58 [0.56-0.62]. Por el contrario, las zonas con mejor desempeño corresponden a las zonas ZR-04 (tramo bajo del río Cachapual) con una seguridad de riego promedio de 0.91 [0.82-0.97], y ZR-09 (río Tinguiririca en San Fernando) alcanzando un valor promedio de 0,90 [0,83-0,96].

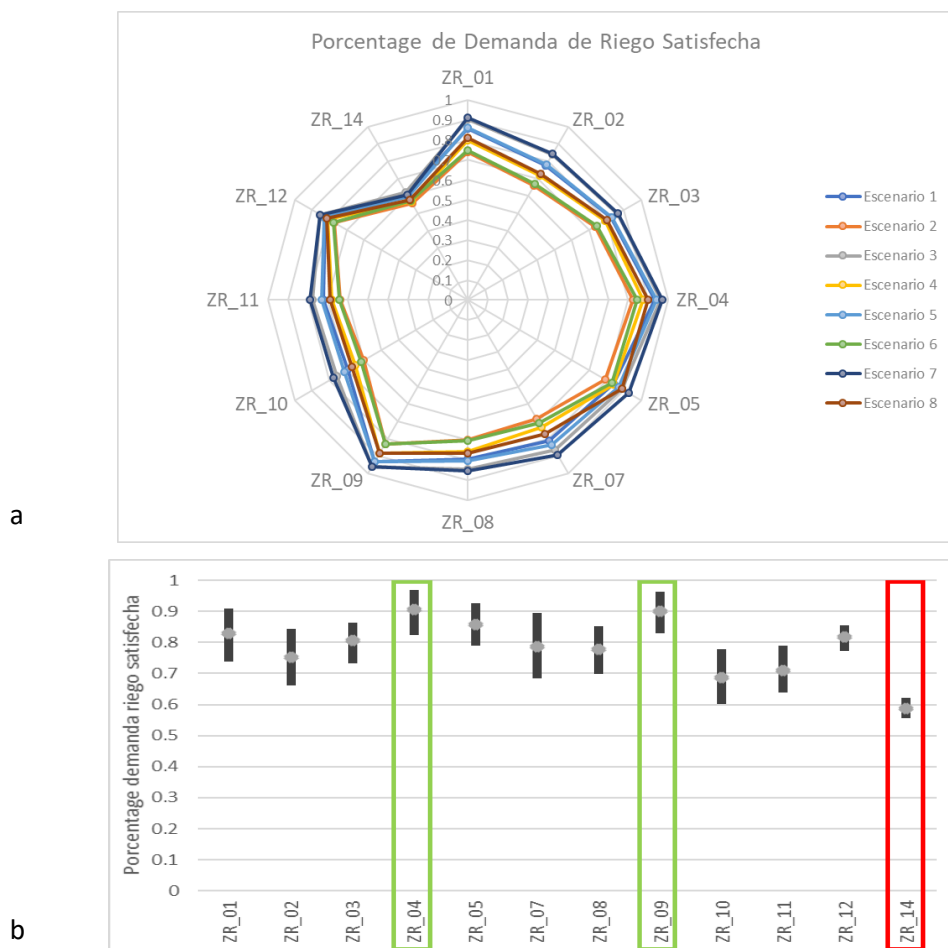


Figura 38. Porcentaje de demanda de riego suministrada: a) en diferentes escenarios; y b) promedio en todos los escenarios.

La Figura 39 muestra el impacto de escenarios individuales en la seguridad del riego en la CRR. El escenario base muestra un valor promedio de 0,80 [0,61-0,93], lo que significa que el 80% del tiempo (paso mensual) se satisface la demanda de riego. Cuando se considera la tendencia del cambio climático en el futuro bajo la infraestructura operativa actual, la seguridad del riego se reduce a 0,71 [0,56-0,83], con los principales impactos concentrados alrededor de las zonas de riego con mejor rendimiento (Figura 39a). Al implementar mejoras en la eficiencia del riego intrapredial (Escenario 3), observamos un aumento en la seguridad del riego de 0,80 a 0,84 [0,68-0,96] (Figura 39b). Esta mejora se concentra en las zonas de riego que muestran mayores aumentos potenciales en la eficiencia intrapredial (ver Tabla 7). Se observa un modesto aumento en la seguridad de riego a 0.81 [0.60-0.94] al implementar tres embalses en las secciones superiores de la CRR (Figura 39c), que se concentra alrededor de las zonas directamente beneficiadas ZR-05 y ZR-07. Un resultado de este análisis indica que los embalses propuestos podrían estar sub-diseñados para tener un impacto notable de incrementar la seguridad del riego a escala de toda la cuenca. Al mismo tiempo, vale la pena enfatizar que la capacidad de los embalses propuestos (máximo 33 Mm³) está de alguna manera limitada por

su ubicación (valles montañosos estrechos), la disponibilidad de agua superficial y las zonas de riego seleccionadas como objetivo para complementar el suministro de agua actual.

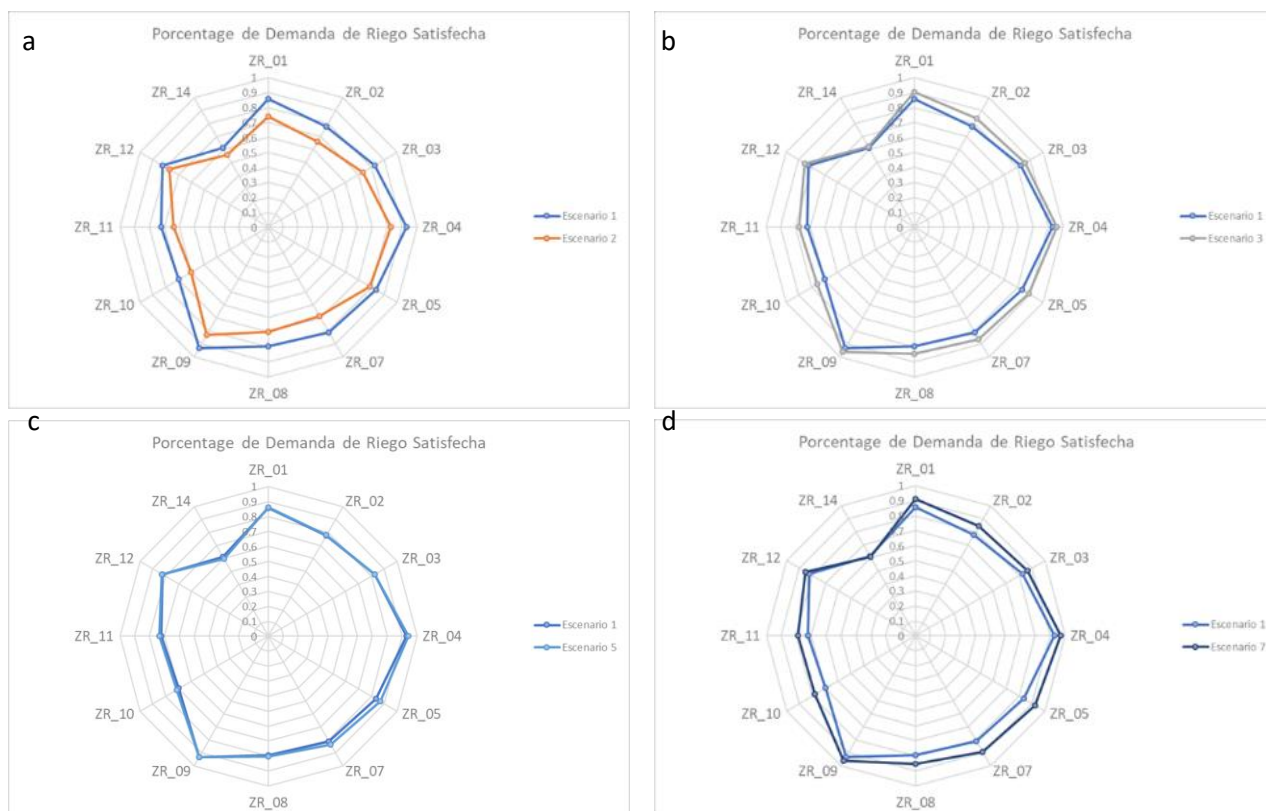


Figura 39. Cambios en la seguridad del riego con respecto a la situación de la línea de base (Escenario 1) para cada zona de riego bajo escenarios específicos: a) tendencia al cambio climático, b) mejoras en la eficiencia del riego dentro de la finca, c) construcción de embalses adicionales, y d) combinación de embalses y mejoras en la eficiencia intrapredial.

Al combinar ambas estrategias, la eficiencia de riego intrapredial y los nuevos embalses, se observa un aumento promedio en la seguridad del riego de 0.80 (línea de base) a 0.86 [0.61-0.97], con las mejoras en la eficiencia en la finca dominando estos aumentos. Especialmente, se observan mejoras importantes alrededor de las zonas de riego ZR-02 (río Claro bajo), ZR-05 (río Claro alto), ZR-07 (río Zamorano), ZR-10 (aguas arriba del embalse Convento Viejo) y ZR-11 (río Tinguiririca).

Para cada escenario, se calculó los valores promedio (38 años) de la descarga total y la descarga de riego asignada a las zonas de riego correspondientes en la CRR. Para los escenarios que no incluyen la estrategia RAG (Escenarios 1 a 8), se calculó la relación entre el valor promedio (riego y descargas totales) y el valor máximo en los 8 escenarios. La Figura 40 muestra la relación de descargas totales y de riego para los Escenarios 1 a 8. De esta figura se observa que las descargas totales asignadas a las zonas de riego son máximas para los Escenarios 1 y 5, mientras que las descargas de riego son subóptimas (no maximizadas). Esto indica que se solicita más agua (como descarga total) pero la descarga de riego real no se utiliza de manera eficiente ya que no se maximiza.

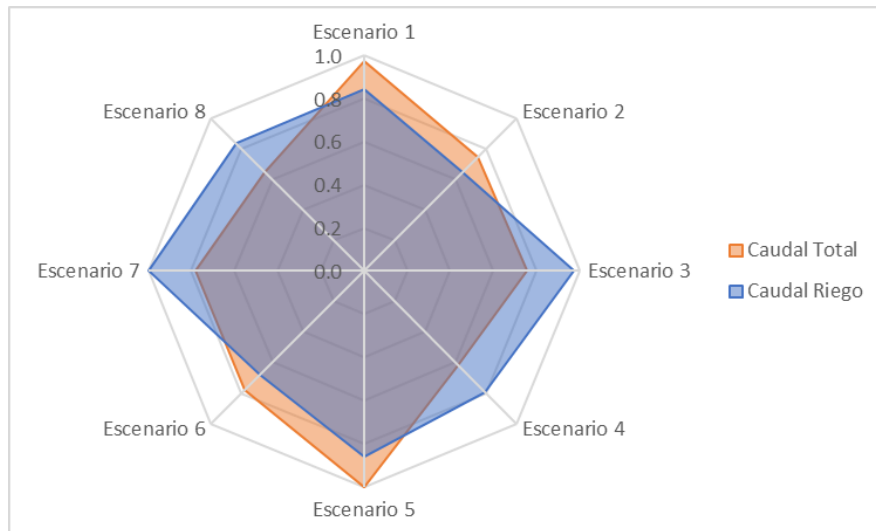


Figura 40. Relación entre escenarios y máximo entre escenarios (QSCEN-i / QMax) para descargas totales y de riego.

Por el contrario, cuando se implementan mejoras en la eficiencia del riego intrapredial, los Escenarios 3 y 7 maximizan las descargas de riego asignadas a cada zona mientras se usa menos descarga total. Esto indicaría ahorros importantes en las pérdidas de agua al suministrar agua para riego en la Cuenca, bajo un escenario de eficiencia mejorada intrapredial.

Recarga de acuíferos

MAGIC realiza un balance hídrico detallado para cada zona de riego. Uno de los principales resultados obtenidos con MAGIC es la recarga del acuífero (o percolación profunda), que se define como el agua que llega al acuífero, en este caso a través del nivel freático, proveniente del riego y precipitación directa en áreas irrigadas y no irrigadas. La Figura 13 muestra los principales sectores de sub-acuíferos incluidos en la topología MAGIC, que se agrupan además para los acuíferos a escala de cuenca en la Tabla 9 (ver Sección 3.5.1).

La Figura 41 muestra las tasas de recarga promedio obtenidas de MAGIC para los correspondientes sub-acuíferos. Las tasas de recarga promedio de hidrología histórica (HH) para el acuífero Cachapoyal alcanzan 17,5 [17-18] m³/s. Cuando se toma en cuenta la tendencia del cambio climático (CC), este valor promedio disminuye a 11 [10-12] m³/s. Se observan incrementos sustanciales cuando se activa la estrategia RAG alcanzando 22 [19-25] m³/s para HH y 19 [16-21] m³/s cuando se considera la tendencia CC. El acuífero Tinguiririca alcanza valores de recarga promedio de 20 [18-21] m³/s y 13 [12-14] m³/s para la tendencia HH y CC, respectivamente. Estos valores aumentaron drásticamente al considerar la estrategia RAG (41 [35-46] m³/s y 35 [30-39] m³/s para la tendencia HH y CC).

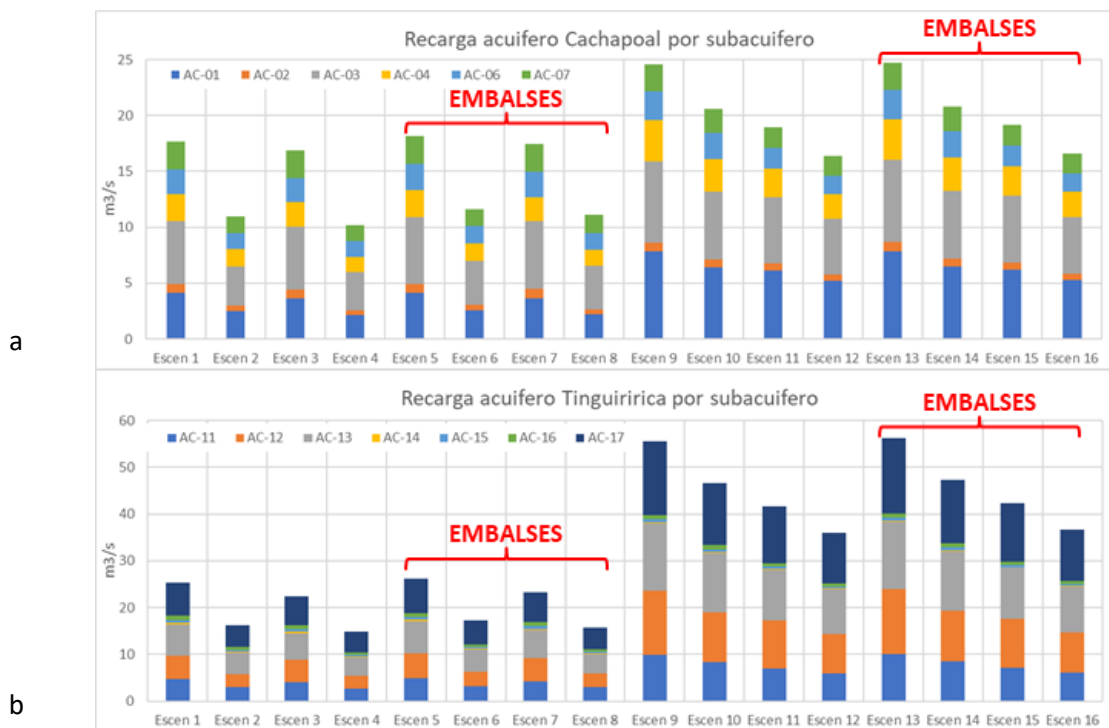


Figura 41. Tasas de recarga promedio (38 años) derivadas del modelo MAGIC en los 16 escenarios para a) acuíferos Cachapoal; y b) acuíferos Tinguiririca.

Para los acuíferos de Alhué, las tasas de recarga alcanzan valores de 1,2 [1,1-1,3] m³/s para HH y 0,8 [0,7-0,9] m³/s para CC, sin impacto de la estrategia RAG ya que esta no se implementó en la subcuenca de Alhué.

En términos de escenarios específicos, las mejoras en las eficiencias intraprediales disminuyen las tasas de recarga en la cuenca en aproximadamente 3 m³/s (HH) y 2 m³/s (CC), lo que representa un 8% de las tasas de recarga promedio para la línea base. La implementación de los tres nuevos embalses aumenta las tasas de recarga en toda la cuenca alrededor de 1,2 m³/s (HH) y 1,3 m³/s (CC), lo que representa un 3% y un 6% del escenario base, respectivamente. Como se muestra en la Figura 41, se generan importantes volúmenes de tasas de recarga al implementar la estrategia RAG, siendo la operación de la red de canales durante el invierno la que tiene el mayor impacto. Especialmente, estos volúmenes de recarga son más relevantes en la subcuenca Tinguiririca debido a la baja eficiencia de conducción de agua (72%) de la red de canales en esa subcuenca (ver Tabla 8). A medida que la operación de la red de canales capta más agua superficial durante los meses de invierno para fines de RAG, las tasas de infiltración promedio en los tramos del río se ven afectadas negativamente. Como consecuencia, las tasas de recarga debido a la infiltración del río disminuyen en un 19-22% para HH y un 25-29% para CC en toda la cuenca.

Resultados de MODFLOW

Las tasas de recarga obtenidas del modelo MAGIC fueron el principal impulsor para la evaluación del impacto de los escenarios en el balance y los niveles de las aguas subterráneas.

Balance de aguas subterráneas

La Figura 42 muestra los resultados del balance de aguas subterráneas para los tres acuíferos principales en la CRR (Cachapoal, Tinguiririca y Alhué) en los 16 escenarios analizados, mientras que las Tablas 18, 19 y 20 resumen estos resultados para la revisión de los componentes individuales del flujo.

Vale la pena repetir que estos valores se obtienen operando la cadena de modelado SWAT-MAGIC-MODFLOW en una base “tal cual”, es decir, no han sido recalibrados ni revalidados ya que estas actividades

estaban fuera del alcance del proyecto SimRapel. Por esta razón se concentra en las características cualitativas de los balances de aguas subterráneas más que en cifras absolutas.

En toda la cuenca y para todos los escenarios, la recarga derivada del riego y la precipitación es el principal aporte de agua subterránea a los acuíferos (52%, 67% y 33% de los aportes totales para los acuíferos Cachapoal, Tinguiririca y Alhué, respectivamente). La infiltración fluvial es otra fuente importante en el acuífero Cachapoal (20% de los aportes totales), mientras que en los acuíferos Tinguiririca y Alhué la contribución de la infiltración fluvial al caudal total es secundaria. En el acuífero Tinguiririca, la recarga lateral (12% de los aportes totales) obtenida como recarga del frente de montaña (DICTUC, 2005) es el segundo componente de entrada más importante del balance hídrico. Las ganancias y pérdidas de almacenamiento también son relevantes en términos absolutos, sin embargo, cuando se considera la ganancia o pérdida neta en almacenamiento (es decir, Almacenamiento Entrada - Almacenamiento Salida), este término es secundario. La excepción a esto corresponde al acuífero de Alhué donde las contribuciones de almacenamiento al balance de aguas subterráneas son significativas.

En cuanto a los caudales, las ganancias fluviales (afloramientos) son el componente más relevante del balance hídrico (55%, 59%, 48% de los caudales totales de los acuíferos Cachapoal, Tinguiririca y Alhué, respectivamente) seguidos de las descargas de pozos de bombeo (32%, 22% y 39% de las salidas totales de los acuíferos Cachapoal, Tinguiririca y Alhué, respectivamente). En términos relativos, las descargas de aguas subterráneas al embalse Rapel son secundarias en los acuíferos Cachapoal y Tinguiririca (<2% de las salidas totales) pero más relevantes para el acuífero Alhué (6% de las salidas totales).



Figura 42. Balance de aguas subterráneas (entradas y salidas) en la CRR para acuíferos: a-b) Cachapoal; c-d) Tinguiririca; y e-f) Alhué.

Como se esperaba, las tasas de recarga son los componentes del flujo del balance de aguas subterráneas que muestran la mayor variabilidad entre los escenarios debido a las condiciones de conducción del análisis (por ejemplo, la tendencia del cambio climático que considera la disminución de la precipitación y el aumento de las temperaturas frente a la hidrología histórica). A pesar de esto, no existe una linealidad de estos impactos en otros componentes del flujo de agua subterránea, como la infiltración y recuperación de ríos, descargas de agua subterránea en el embalse Rapel, contribuciones de almacenamiento o entradas de agua subterránea desde condiciones de frontera. Estos muestran una variación sustancialmente menor entre escenarios en comparación con las tasas de recarga, destacando así el efecto amortiguador de los sistemas de agua subterránea en términos de respuestas a factores externos como el clima.

Tabla 18. Balance de aguas subterráneas del acuífero Cachapoal.

CACHAPOAL	Escen 1	Escen 2	Escen 3	Escen 4	Escen 5	Escen 6	Escen 7	Escen 8	Escen 9	Escen 10	Escen 11	Escen 12	Escen 13	Escen 14	Escen 15	Escen 16
Salidas Totales	31,04	25,27	30,12	24,43	31,38	25,76	30,53	25,02	35,31	32,45	29,95	28,16	35,24	32,39	29,97	28,17
Afloramientos	16,83	12,49	16,31	12,05	17,22	12,95	16,76	12,61	21,31	18,58	17,29	15,54	21,40	18,70	17,44	15,70
Bombeo pozos	9,45	9,40	9,45	9,34	9,45	9,40	9,45	9,36	9,45	9,45	9,45	9,45	9,45	9,45	9,45	9,45
Descarga Emb. Rapel	0,49	0,35	0,49	0,35	0,50	0,36	0,50	0,37	0,48	0,45	0,40	0,38	0,48	0,45	0,40	0,38
Almacenamiento	4,27	3,04	3,87	2,69	4,22	3,05	3,82	2,69	4,07	3,97	2,81	2,78	3,91	3,79	2,67	2,64
Entradas Totales	31,04	25,27	30,12	24,43	31,38	25,76	30,53	25,02	35,31	32,45	29,95	28,16	35,24	32,39	29,97	28,17
Recarga (Riego + Lluvia)	15,94	9,88	15,23	9,22	16,42	10,51	15,80	10,01	22,21	18,63	17,17	14,80	22,34	18,78	17,36	15,00
Infiltración	5,79	6,46	5,86	6,53	5,76	6,39	5,82	6,44	5,27	5,58	5,75	5,93	5,26	5,56	5,74	5,91
Recarga lateral	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52
Flujos Subt. cabecera	2,42	2,57	2,46	2,60	2,42	2,56	2,46	2,59	2,13	2,24	2,28	2,35	2,12	2,24	2,27	2,35
Almacenamiento	4,37	3,84	4,05	3,57	4,26	3,78	3,94	3,47	3,18	3,48	2,24	2,57	3,00	3,29	2,09	2,40

Tabla 19. Balance de aguas subterráneas del acuífero Tinguiririca.

TINGUIRIRICA	Escen 1	Escen 2	Escen 3	Escen 4	Escen 5	Escen 6	Escen 7	Escen 8	Escen 9	Escen 10	Escen 11	Escen 12	Escen 13	Escen 14	Escen 15	Escen 16
Salidas Totales	35,50	27,36	31,84	25,55	36,10	28,04	32,37	26,23	63,36	56,24	48,38	44,19	63,53	56,44	48,66	44,51
Afloramientos	18,95	12,67	16,74	11,58	19,54	13,24	17,28	12,16	42,46	35,48	31,20	26,90	42,88	35,95	31,66	27,43
Bombeo pozos	8,98	8,98	8,98	8,98	8,98	8,98	8,98	8,98	8,98	8,98	8,98	8,98	8,98	8,98	8,98	8,98
Descarga Emb. Rapel	0,87	0,75	0,82	0,73	0,88	0,76	0,83	0,75	1,27	1,15	1,10	1,03	1,28	1,16	1,11	1,04
Almacenamiento	6,70	4,96	5,30	4,27	6,70	5,05	5,27	4,35	10,65	10,63	7,10	7,28	10,40	10,35	6,91	7,05
Entradas Totales	35,50	27,36	31,84	25,55	36,10	28,04	32,37	26,23	63,36	56,24	48,38	44,19	63,53	56,44	48,66	44,51
Recarga (Riego + Lluvia)	21,81	14,03	19,34	12,73	22,54	14,77	20,02	13,51	47,86	40,18	35,89	31,03	48,32	40,69	36,40	31,63
Infiltración	1,33	2,05	1,51	2,19	1,28	1,96	1,45	2,09	0,63	0,70	0,78	0,90	0,62	0,69	0,77	0,88
Recarga lateral	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11
Flujos Subt. cabecera	0,67	0,69	0,67	0,69	0,67	0,68	0,67	0,69	0,61	0,63	0,64	0,65	0,61	0,63	0,64	0,65
Almacenamiento	6,58	5,50	5,21	4,83	6,52	5,52	5,12	4,83	9,15	9,62	5,96	6,50	8,87	9,33	5,75	6,24

Tabla 20. Balance de aguas subterráneas del acuífero Alhué.

ALHUÉ	Escen 1	Escen 2	Escen 3	Escen 4	Escen 5	Escen 6	Escen 7	Escen 8	Escen 9	Escen 10	Escen 11	Escen 12	Escen 13	Escen 14	Escen 15	Escen 16
Salidas Totales	2,99	2,61	3,03	2,64	3,00	2,62	3,04	2,67	2,80	2,64	2,68	2,55	2,80	2,64	2,66	2,55
Afloramientos	1,38	1,24	1,38	1,25	1,38	1,25	1,38	1,26	1,38	1,30	1,33	1,26	1,38	1,30	1,32	1,26
Bombeo pozos	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
Descarga Emb. Rapel	0,21	0,15	0,21	0,16	0,21	0,15	0,22	0,16	0,18	0,16	0,16	0,15	0,18	0,16	0,16	0,15
Almacenamiento	0,35	0,16	0,37	0,18	0,35	0,16	0,38	0,18	0,18	0,12	0,14	0,09	0,18	0,12	0,12	0,09
Entradas Totales	2,99	2,61	3,03	2,64	3,00	2,62	3,04	2,67	2,80	2,64	2,68	2,55	2,80	2,64	2,66	2,55
Recarga (Riego + Lluvia)	1,12	0,59	1,16	0,63	1,15	0,62	1,18	0,67	1,11	0,83	0,97	0,73	1,12	0,84	0,94	0,73
Infiltración	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05
Recarga lateral	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Flujos Subt. cabecera	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08
Almacenamiento	1,71	1,85	1,71	1,84	1,70	1,84	1,70	1,83	1,54	1,65	1,57	1,67	1,53	1,64	1,57	1,66

Al comparar las estrategias individuales, se observa que bajo un escenario de precipitación reducida y mayor demanda de evapotranspiración (tendencia al cambio climático), la implementación de RAG junto con mejores eficiencias intraprediales en toda la cuenca igual al 75% (Escenario 12) generaría tasas de recarga e infiltraciones de ríos ($21 \text{ m}^3/\text{s}$) similares que la situación de línea de base ($22 \text{ m}^3/\text{s}$) (es decir, hidrología histórica) en la subcuenca Cachapoal. Una situación similar se observa para las ganancias fluviales promedio (afloramientos) durante el período de simulación de 38 años para el Escenario 12 ($16 \text{ m}^3/\text{s}$) contra el escenario de línea de base ($17 \text{ m}^3/\text{s}$). Esto sugeriría que invertir en la mejora de la eficiencia intrapredial y la implementación de estrategias RAG sería una forma eficaz de combatir los impactos potenciales del cambio climático en los recursos de agua superficial y subterránea disponibles.

A escala de toda la cuenca, el impacto del RAG es sustancialmente más relevante en términos volumétricos en la subcuenca Tinguiririca. Esto se puede explicar por la menor eficiencia del transporte de agua por km de red de canales lineales (ver Tabla 8). Es probable que los escenarios más intervenidos en términos de regulación de aguas superficiales bajo la tendencia del cambio climático (es decir, Escenarios 12 y 16) generen tasas de recarga e infiltraciones fluviales (y ganancias fluviales) mayores en la subcuenca.

Si se espera menos agua superficial bajo una tendencia de cambio climático en el futuro para la CRR, ¿de dónde entonces proviene el exceso de agua disponible para implementar RAG y aumentar las tasas de recarga en los acuíferos?

La Figura 43 muestra las descargas en la salida de la cuenca, reflejando así el rendimiento de agua de toda la cuenca antes de descargarse en el Océano Pacífico. La Figura 36b muestra la serie de tiempo para ambos escenarios resaltados en la Figura 43. Al comparar las tasas de descarga en la salida de la cuenca para escenarios sin estrategia RAG (Escenario 1 al Escenario 8) con los escenarios equivalentes que implementan la estrategia RAG (Escenario 9 al Escenario 16) se puede ver una reducción sustancial en las descargas promedio. En promedio anual, esta reducción es de alrededor de $44 [34-56] \text{ m}^3/\text{s}$, lo que sugiere que el agua disponible para recargar los acuíferos a través de RAG proviene de una reducción en las descargas de toda la cuenca. Por supuesto, hay otros componentes que afectan el balance hídrico de toda la cuenca (por ejemplo, aumentos en las demandas de evapotranspiración debido al cambio climático).

La Figura 44 muestra la “eficiencia” de toda la cuenca, definida como la relación entre las descargas en la salida de la cuenca y el rendimiento de agua superficial. El rendimiento de agua superficial es una función del modelado hidrológico realizado con SWAT y como tal se fija para las dos condiciones analizadas: hidrología histórica de referencia ($2.370 \text{ m}^3/\text{s}$) y tendencia del cambio climático ($1.687 \text{ m}^3/\text{s}$). Para cada escenario analizado se obtuvo la suma anual acumulada de descargas en la salida de la cuenca, las cuales están representadas por las barras en la Figura 44. Con estas cifras se calcula la eficiencia de toda la cuenca. A partir de esta figura, se observa que para escenarios que no consideran estrategias RAG, la cuenca es relativamente ineficiente (> 1) ya que las descargas de salida son mayores a largo plazo que el rendimiento de agua. Vale la pena enfatizar que el rendimiento de agua superficial es un resultado SWAT de un ejercicio de modelado de lluvia-escorrentía y no considera las contribuciones de agua subterránea al sistema de agua superficial (retornos, derrames) y transferencias entre cuencas (contribución del canal Tenó). Cuando se implementan las estrategias RAG, la eficiencia de toda la cuenca mejora, ya que las descargas de producción de la cuenca disminuyen porque contribuyen a recargar los sistemas acuíferos en la cuenca.

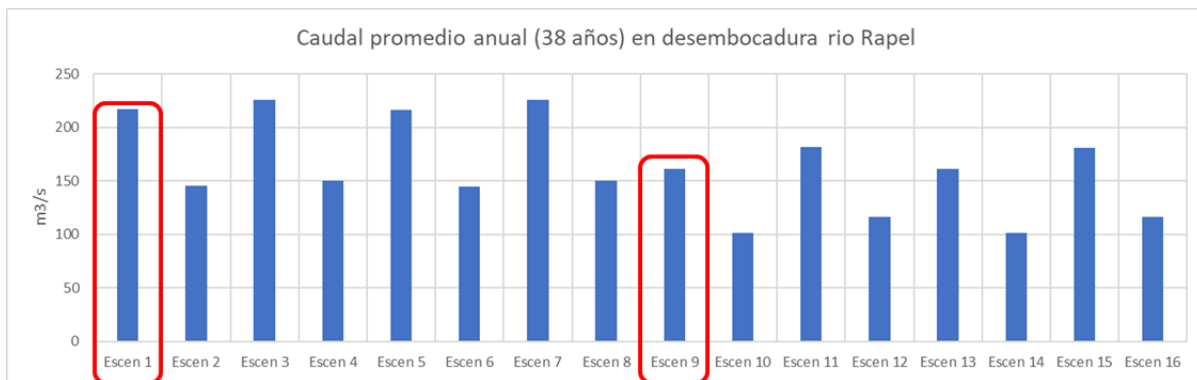


Figura 43. Descarga promedio a la salida de la cuenca para los escenarios analizados en SimRapel.

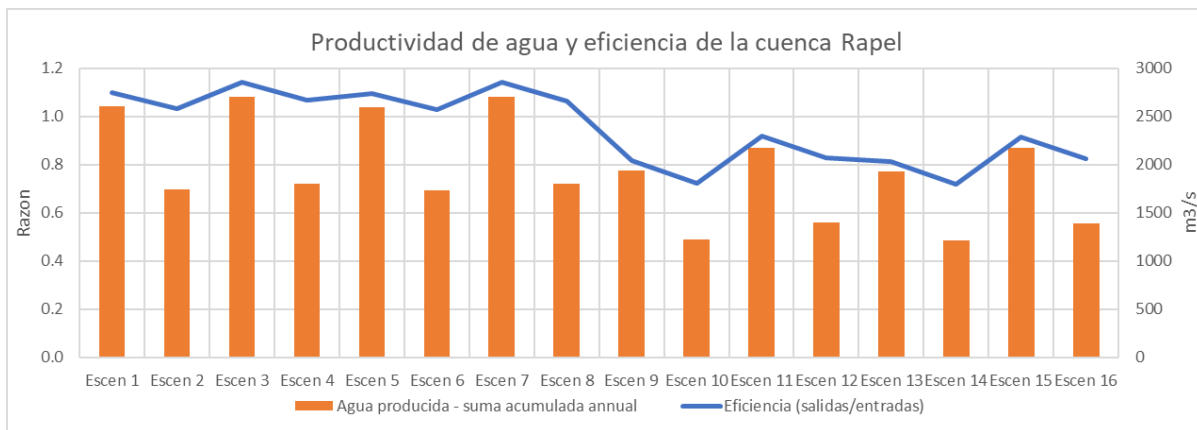


Figura 44. Descargas acumuladas anuales en la salida de la CRR.

Cabeceras aguas subterráneas

Las Figuras 45, 46 y 47 muestran la distribución espacial de los niveles de agua subterránea en los principales acuíferos de la CRR. Estas figuras también incluyen una representación esquemática de las líneas de flujo advectivas y la velocidad relativa (vectores de flecha) para el agua subterránea en estos acuíferos. Se muestran pozos de observación específicos seleccionados para evaluar la evolución temporal de las aguas subterráneas en estos acuíferos. Sin embargo, estos se consideran referenciales de las condiciones de línea base y experimentarán fluctuaciones drásticas para cada uno de los 16 escenarios analizados.

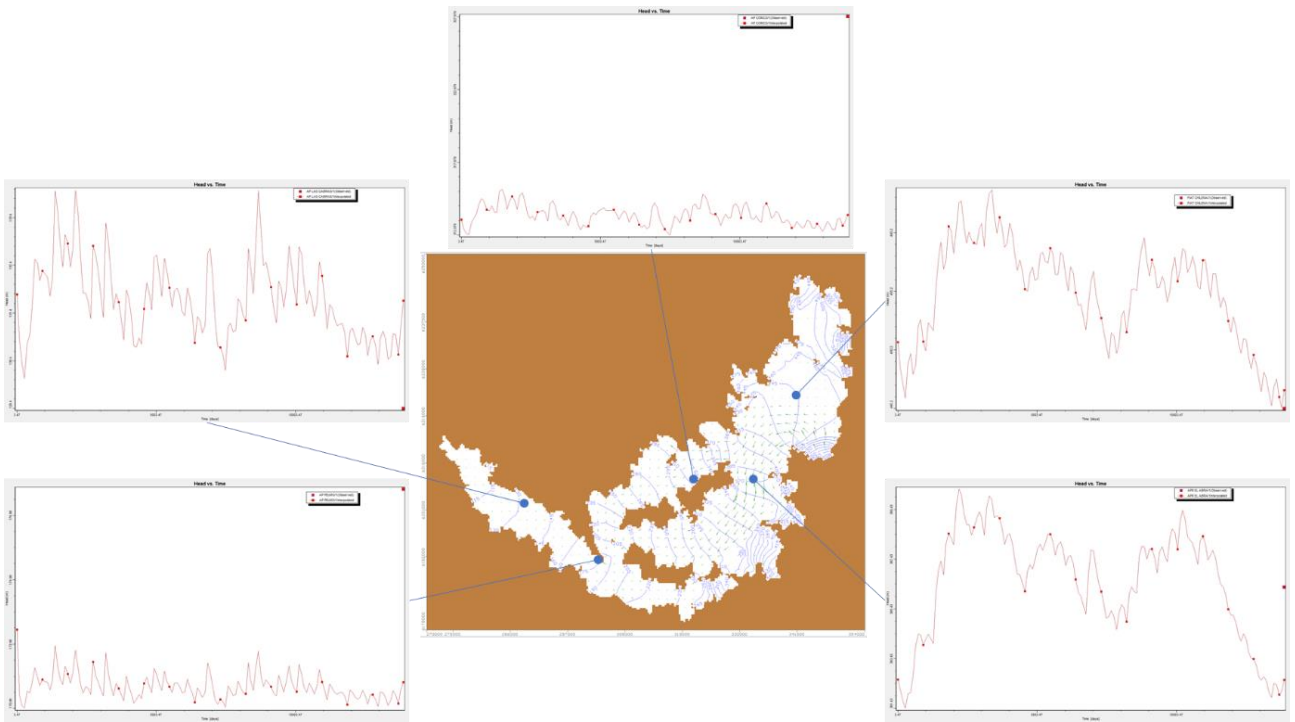


Figura 45. Niveles de agua subterránea después de un período de simulación de 38 años para la situación de línea base (Escenario 1) en el acuífero Cachapal.

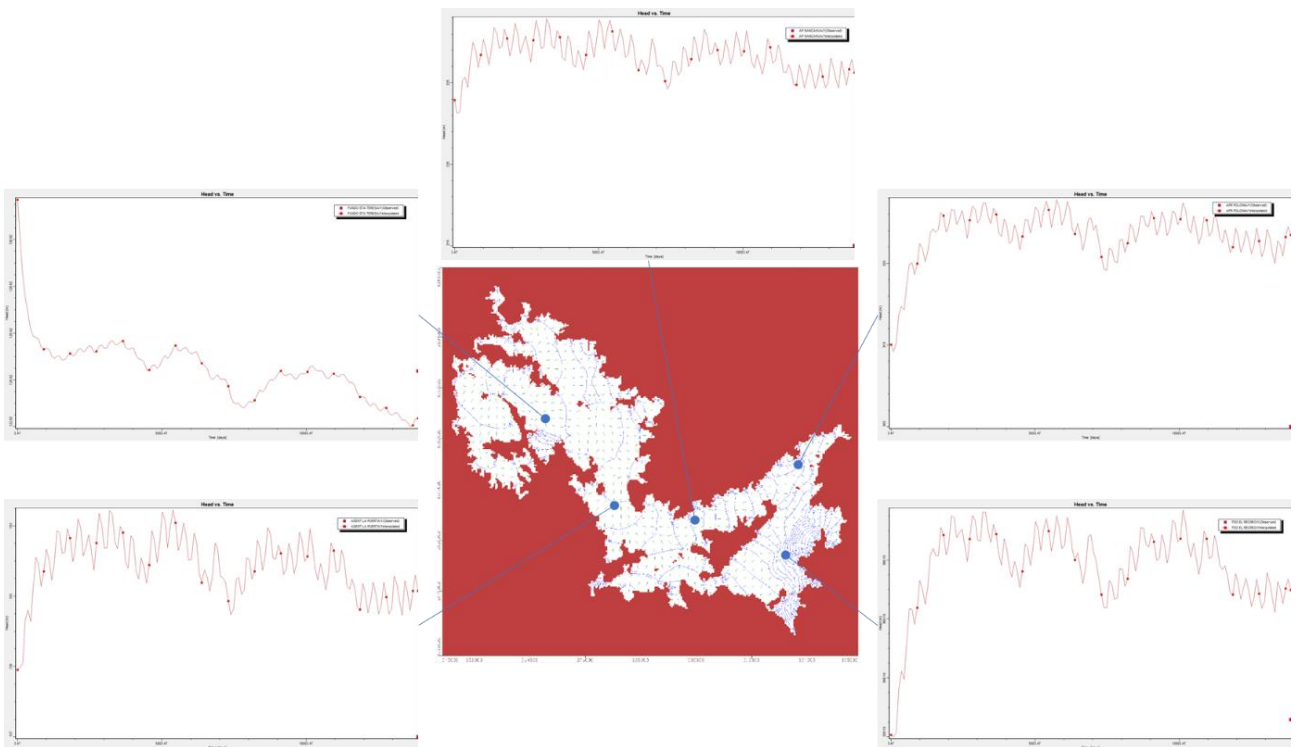


Figura 46. Niveles de agua subterránea después de un período de simulación de 38 años para la situación de la línea de base (Escenario 1) en el acuífero Tinguiririca.

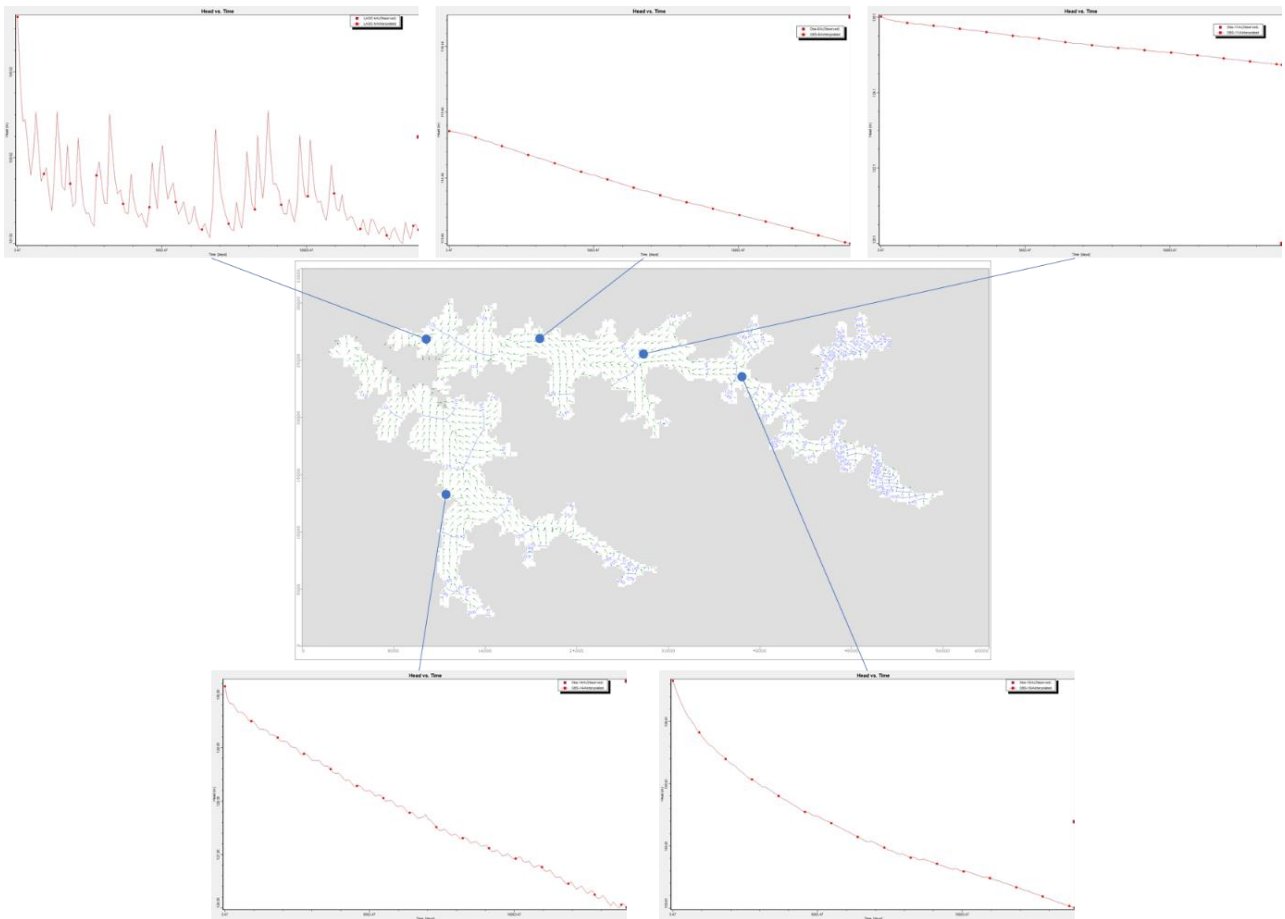


Figura 47. Niveles de agua subterránea después de un período de simulación de 38 años para la situación de línea base (Escenario 1) en el acuífero Alhué.

Con el fin de considerar los impactos potenciales de las diferentes estrategias implementadas en los escenarios sobre los niveles de agua subterránea, se calculó la relación del promedio espacial de los niveles de agua subterránea entre el inicio y el final del período de simulación (38 años) para cada escenario y para cada acuífero. Si esta relación es mayor que 1 indica que, en promedio, los niveles de agua subterránea han aumentado con el tiempo en ese acuífero y escenario. Lo contrario es cierto para el agua subterránea que disminuye con el tiempo en promedio.

La Figura 48 muestra un gráfico de radar que resalta estas relaciones. Claramente, el impacto más sustancial en términos de aumento de los niveles de agua subterránea (promedio espacial) en diferentes escenarios es para el acuífero Tinguiririca, seguido por el acuífero Cachapoal. Los escenarios RAG tienen un papel importante en la promoción de estos aumentos (Escenario 9 al Escenario 16) para los acuíferos Tinguiririca y Cachapoal. Para los escenarios específicos del acuífero Tinguiririca que consideran nuevos embalses y eficiencias mejoradas (Escenarios 3, 5 y 7) también impulsan aumentos marginales promedio en los niveles de agua subterránea. Sin RAG, las disminuciones en las aguas subterráneas son claramente más sensibles a la tendencia del cambio climático a lo largo del tiempo (Escenarios 2, 4, 6 y 8) en todos los acuíferos. Por último, el acuífero de Alhué muestra una clara tendencia a la disminución de las aguas subterráneas a lo largo del tiempo en todos los escenarios, muy probablemente relacionado con el nivel de explotación impuesto al ejercicio de modelado integrado.

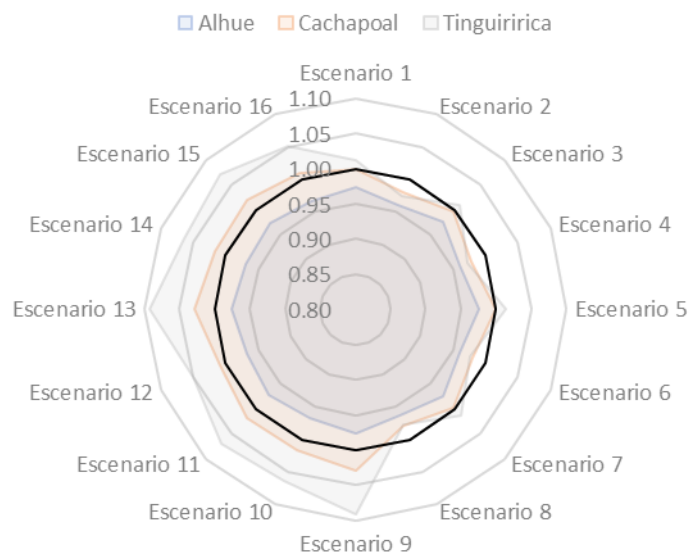


Figura 48. Relación del promedio espacial de los niveles de agua subterránea entre el inicio y el final del período de simulación para diferentes escenarios.

Discusión de resultados

Los resultados del modelo integrado muestran que la CRR es vulnerable a los impactos potenciales del cambio climático en el futuro a mediano y largo plazo (disminución del 20% en la precipitación promedio y aumentos en las temperaturas promedio de 2.5 ° C). Estos impactos son más notorios durante años de caudal bajo y en subcuencas intermedias a aguas abajo.

Las estrategias implementadas a través de 16 escenarios impactan de manera diferente en el tiempo y volumétricamente los resultados del balance hídrico, el rendimiento del agua y las eficiencias en toda la cuenca. Por ejemplo, los aumentos en la eficiencia del riego intrapredial probablemente impulsen mejoras en la seguridad del agua al disminuir la demanda de agua de riego; la implementación de RAG mejora las tasas de recarga de los acuíferos y las ganancias de los ríos con el tiempo; los nuevos embalses tienen impactos localizados principalmente relacionados con el limitado volumen útil simulado en la topología MAGIC. Considerando la demanda de riego como el uso de agua dominante en la cuenca, se requiere una combinación de estrategias para aumentar la seguridad hídrica para este grupo de usuarios. Esta combinación requeriría mejoras en la eficiencia del riego intrapredial, nueva infraestructura hidráulica (debidamente dimensionada para impactos en toda la cuenca) e implementación de RAG para aprovechar los volúmenes excedentes durante los meses de invierno.

Por supuesto, existen algunas compensaciones que requieren consideración antes de implementar tales medidas. La implementación de RAG durante los meses de invierno operando la red de canales al 75% de su capacidad probablemente disminuirá las tasas de infiltración del río durante esa temporada. Asimismo, para implementar RAG se requerirá estar preparado para tolerar una disminución promedio de descargas en la salida de la cuenca, lo que podría impactar los ecosistemas costeros y ribereños aguas abajo.

4.3.2 Interfaz web

Marco general

El diseño del software de la herramienta se basó en los requisitos para un sistema de modelado reutilizable sobre el cual se pueden construir modelos espaciotemporales personalizados. Por lo tanto, la herramienta SimRapel constó de dos partes principales: el producto del marco genérico de modelado espacial/temporal

con una interfaz de usuario (Graphical User Interface, GUI) basada en un navegador web y los resultados de la modelación hidrológico-hidrogeológico de agua superficial/subterránea para la CRR.

El marco genérico está escrito en el lenguaje de programación Python (V3) y está diseñado para ser independiente de la plataforma (Linux, Mac OS y Windows). Utiliza el paquete Python Flask y su servidor web incorporado para usar a través de un navegador web o un producto como Electron. La herramienta en esta etapa es inherentemente una aplicación de escritorio, una que simplemente utiliza tecnología web para su interfaz de usuario, pero con más trabajo podría permitir el alojamiento en línea puro. Es una aplicación web de una sola página que no se basa en ningún marco web en particular, es solo Python Flask y JavaScript. La opción de usar un front-end HTML/JavaScript en lugar de una interfaz de usuario de escritorio tradicional se tomó para aprovechar al máximo las muchas herramientas de JavaScript gratuitas para la creación de gráficos y la visualización de conjuntos de datos espaciales. Los principales productos que finalmente se eligieron para estas tareas fueron:

- Chart.js (para gráficos),
- Leaflet (para datos espaciales o visualización de mapas),
- jsPanel (para el diseño del panel),
- Handlebars (para plantillas HTML) y
- Bootstrap (para la apariencia).

La herramienta maneja la naturaleza dinámicamente construida de su interfaz de usuario exclusivamente a través de JavaScript, como lo hace para la interactividad de gráficos y la representación de la capa espacial.

Descripción general de la interfaz de usuario

La disposición general de la interfaz se muestra en la Figura 49.

La interfaz de usuario consiste en siete* secciones principales:

- 1) Mapa de fondo
- 2) Ventana de entradas del modelo**
- 3) Ventana de salidas del modelo**
- 4) Ventana de información de la capa de modelo**
- 5) Cluster de control de marcha del modelo
- 6) Cluster de control de capa de mapa
- 7) Cluster de control auxiliar del modelo

* Se puede lanzar cualquier número de ventanas de diálogo adicionales. Para ver información específica sobre las características de la capa espacial (si está definida por el modelador).

** Todas las ventanas se pueden mover, minimizar y redimensionar.

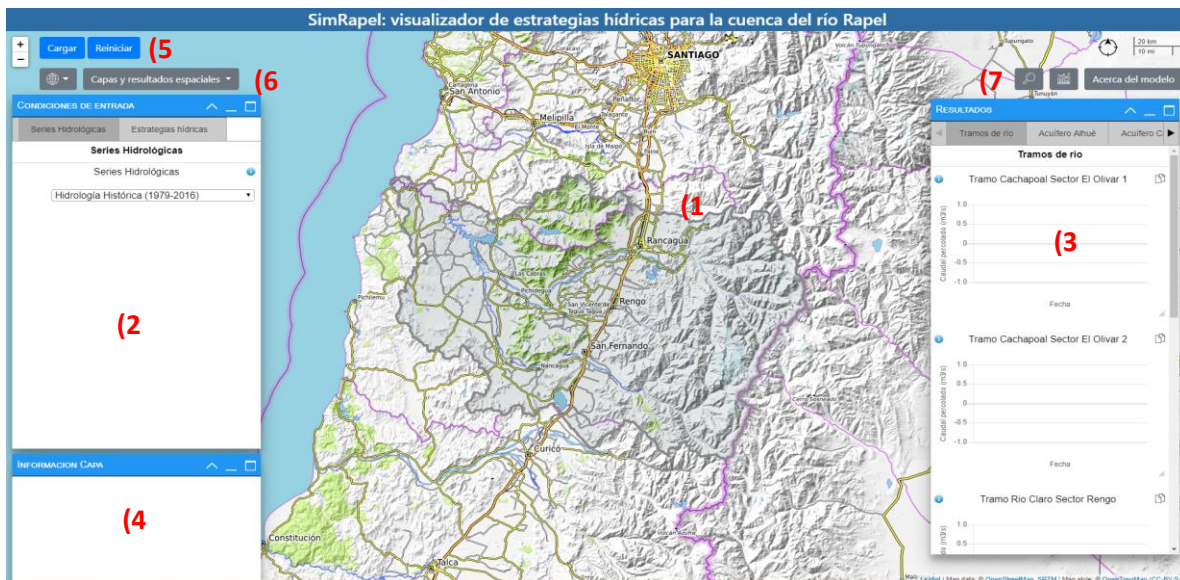


Figura 49. Diseño de la página principal de SimRapel.

1) Mapa de fondo

El mapa de fondo de la herramienta es una capa (layer) que muestra los conjuntos de datos espaciales en un mapa base del mundo. Este mapa se puede ampliar y desplazar. El mapa contiene un botón de acercamiento y alejamiento en la esquina superior izquierda y una escala de mapa e indicador de Norte en la parte superior derecha de la pantalla.

2) Ventana de “Condiciones de entrada”

Esta ventana contiene los controles de entrada del modelo usados para definir la estrategia que será cargada/visualizada.

3) Ventana de “Resultados”

Esta ventana contiene algunos de los gráficos de salida del modelo. Los gráficos aquí desplegados son aquellos que no fueron directamente enlazados con algún elemento espacial.

4) Ventana de “Información Capa”

Esta ventana muestra información sobre las capas espaciales activas a las cuales se les ha hecho clic con el *mouse* en el mapa de fondo (ver número 6). Muestra la latitud y longitud del clic en el mapa y lista cualquier capa visible del mapa, mostrando el índice de la celda y su valor en el punto de clic. Algunas capas de mapa contienen datos adicionales a los que se puede acceder en cada una de sus celdas. Si este es el caso, aparece un icono en el que se puede hacer clic para abrir una ventana de diálogo que contiene los resultados.

5) Cluster de control de marcha del modelo

Este grupo de controles contiene:

- El botón *Cargar*, que despliega los resultados pre-ejecutados del modelo.
- El botón *Reiniciar*, que restablece la simulación del modelo y borra las salidas.

6) Cluster de control de “Capas y resultados espaciales”

Este grupo de controles contiene:

- Selector de mapa base: una selección de mapa base que constituirá la imagen del mapa subyacente, por ejemplo, topografía, imágenes de satélite.

- Selector de capas de mapa: una selección de capas espaciales de modelos disponibles que se pueden activar o desactivar (cada elemento de la lista se puede ampliar para obtener más información y revisar resultados espaciales de una estrategia).

7) Cluster de control auxiliar del modelo. Este grupo de controles contiene:

- Botón “Buscador de funciones”: se utiliza para alternar entre el Buscador de características - una ventana de búsqueda de las características visibles de la capa espacial.
- Botón “Visualizador de datos globales”: se utiliza para generar un nuevo panel de visualización de datos globales para la comparación de resultados de las estrategias.
- Botón “Acerca del modelo”: se utiliza para abrir una gran ventana de diálogo modal que contiene información sobre el modelo.

Ícono de información

El ícono puede encontrarse en múltiples lugares dentro de la herramienta, generalmente contiguo a un botón, un control específico, o en un gráfico. Este ícono implica que existe más información disponible para el usuario. Al mantener el cursor del *mouse* sobre el ícono, una ventana que contiene información adicional aparecerá.

Configuración del modelo Entradas (ejecución de diferentes estrategias)

Las entradas del modelo se encuentran en las pestañas de la ventana superior izquierda de la interfaz. Consisten en cuadros desplegables y selectores Sí/No. Al modificar estas desde su configuración predeterminada, se habilitan diferentes estrategias. Hay un total de dieciséis estrategias diferentes, las cuales puede ser seleccionadas a lo largo de cuatro opciones de control de entradas.

Cargar el modelo

Para cargar el modelo con las entradas actualmente seleccionadas, haga clic en el botón “Cargar” en la esquina superior izquierda de la pantalla. Debería ver una barra de progreso en el centro de la pantalla mientras el modelo carga los resultados de dicha estrategia. Una vez que los resultados se hayan cargado con éxito, los gráficos de salida de la ventana de la derecha se rellenarán y las capas del mapa estarán disponibles. Para cargar otra simulación después de la primera, se debe reiniciar el modelo; para ello, haga clic en el botón Reiniciar en la esquina superior izquierda. Esto borrará las salidas y reiniciará el modelo, dejándolo listo para que el usuario configure la siguiente serie de entradas y cargue un nuevo modelo con el botón Cargar.

Visualización de las salidas

La herramienta produce resultados en varias formas: La comparación de diferentes estrategias se realiza mediante el Visualizador de Datos Globales (VDG), y puede realizarse sin haber cargado una estrategia previamente. Los siguientes resultados están disponibles para visualizar la última estrategia cargada:

- Los gráficos de salida globales: se pueden encontrar en la ventana “Resultados” a la derecha de la pantalla.
- Las capas de mapa: se pueden activar y desactivar y visualizar en la capa de mapa de fondo.
- Algunas características del mapa (puntos, líneas o polígonos): contienen datos que se pueden ver al posicionar el *mouse* por encima de ellos (siempre que no haya otra capa de mapa por encima).

La Figura 50 muestra los gráficos de salida poblados a la derecha; varias capas de mapa activadas mediante el selector de capas de mapa; y un gráfico de series temporal emergente, desplegado desde el mapa al hacer clic en un elemento puntual específico y seleccionando el set de datos a visualizar.

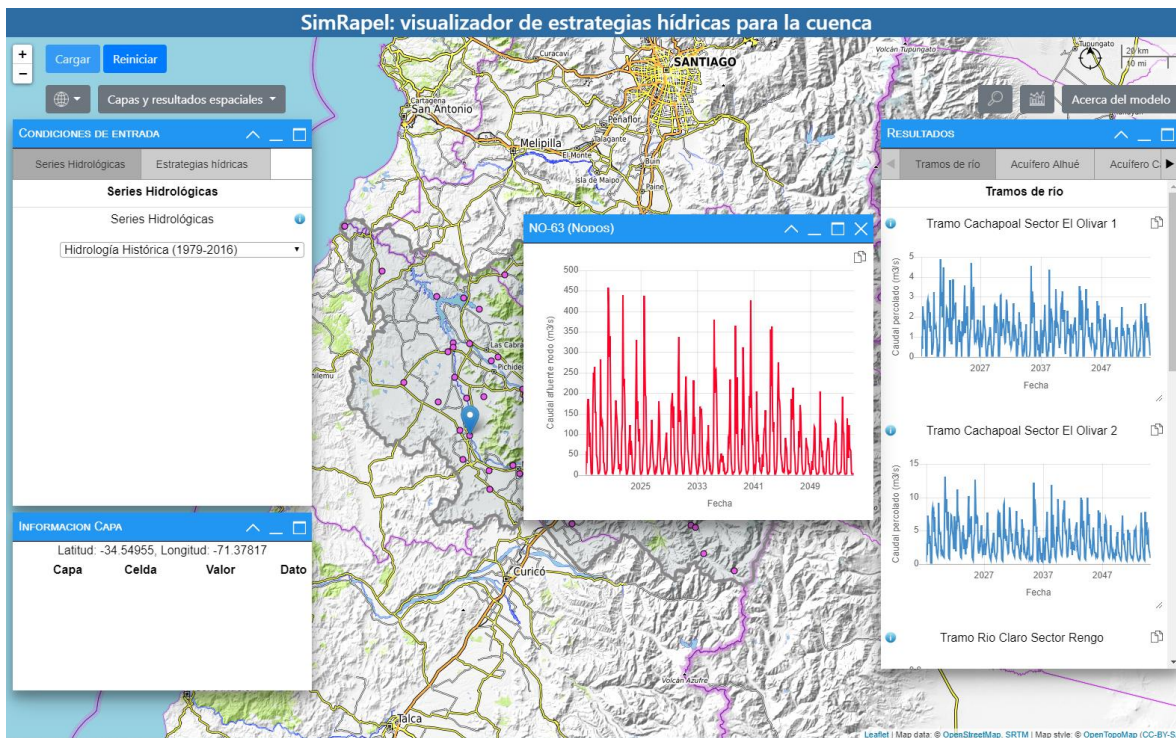


Figura 50. Serie de tiempo resultante del modelo vinculado a un elemento puntual específico, una capa espacial visible de punto.

Exploración de los Resultados

Los datos que no se encuentran explícitamente vinculados a algún elemento en las capas espaciales se podrán visualizar en la ventana de “Resultados” (Figura 51). Contiene varias pestañas que se pueden desplazar a través de ellas. Los gráficos individuales pueden redimensionarse verticalmente haciendo clic y arrastrando el pequeño icono en la parte inferior derecha de cada gráfico. La ventana de Resultados puede expandirse horizontalmente arrastrando el borde izquierdo hacia afuera (como si se tratara de una ventana normal) o maximizándola ventana utilizando el botón de maximizar en la esquina superior derecha. Las salidas de series temporales también se pueden ampliar pulsando el botón del *mouse* al principio de la sección para ampliarla y, a continuación, mientras se mantiene pulsado el botón del *mouse*, arrastrando hasta el final de la sección para ampliarla y soltando el botón del *mouse*. Para restaurar el zoom a su nivel predeterminado, simplemente haga clic en cualquier parte del gráfico.

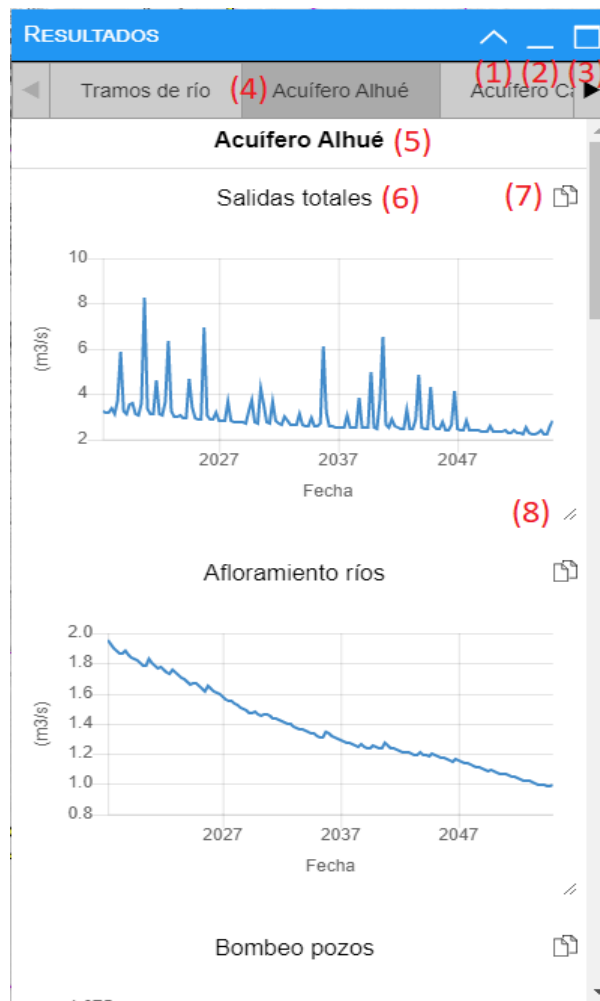


Figura 51. Ventana de resultados SimRapel. Explicación detallada de la ventana de Resultados: 1. Botón de Contraer Ventana; 2. Botón de minimizar al fondo de la pantalla; 3. Botón de maximizar a pantalla completa; 4. Pestañas de salidas; 5. Encabezado del grupo de salidas; 6. Título individual de la salida; 7. Exportar la salida específica como texto al portapapeles; 8. Ajustar la altura vertical del icono del gráfico.

Exploración de las capas de mapa

Para ver las salidas de la capa espacial, utilice el control desplegable del Selector de Capas de Mapa como se muestra en la Figura 52.

Las capas espaciales individuales pueden activarse y desactivarse haciendo clic en las casillas situadas a la izquierda del nombre de cada capa. Cada entrada de capas se puede expandir haciendo clic en la pequeña flecha hacia abajo a la derecha del nombre de la capa. Esto ampliará la entrada y mostrará cualquier información adicional (si está disponible) y para las capas de GeoTIFF mostrará una banda de color que indica los colores mínimo y máximo.



Figura 52. Control del selector de capas de mapa SimRapel.

Exploración de los datos de los elementos contenidos en las capas del mapa

Para obtener más información sobre un elemento de una capa espacial, posicione el *mouse* por encima del elemento (asegurándose de que no hay otras capas visibles encima) o intente hacer clic en él. Si el elemento tiene algún conjunto de datos adjunto, al hacer clic en ella se abrirá una ventana de diálogo que mostrará el conjunto de datos. Para las capas de GeoTIFF (como las cuadrículas del modelo MODFLOW), hacer clic en una celda hará que la información sobre esa celda aparezca en la ventana de Información de Capas (ver Figura 53).

INFORMACION CAPA			
Latitud: -34.07541, Longitud: -71.28754			
Capa	Celda	Valor	Dato
Alhué carga			
hidráulica	[102,118]	113.34285	N/A
subterránea	(2)	(3)	(4)
(1)			

Figura 53. Ventana de Información de Capa SimRapel.

La ventana Información de Capa contiene la siguiente información:

1. Título de la capa
2. Índice de celdas [fila, columna]
3. Valor de los datos en la celda
4. Si la celda específica tiene un conjunto de datos adjunto, aparecerá un icono en esta columna. Al hacer clic en el icono se abrirá una ventana de diálogo que contiene el conjunto de datos.

Encontrar elementos de la capa

Para localizar elementos particulares del mapa (que estén actualmente visibles), se utiliza la herramienta Buscador de funciones. Esta herramienta permite al usuario buscar nombres de elementos mediante una búsqueda de texto (véase la Figura 54). La herramienta busca todos los nombres de los elementos de las capas visibles y tiene la opción de desplazar y acercar el mapa a cualquier elemento deseado.

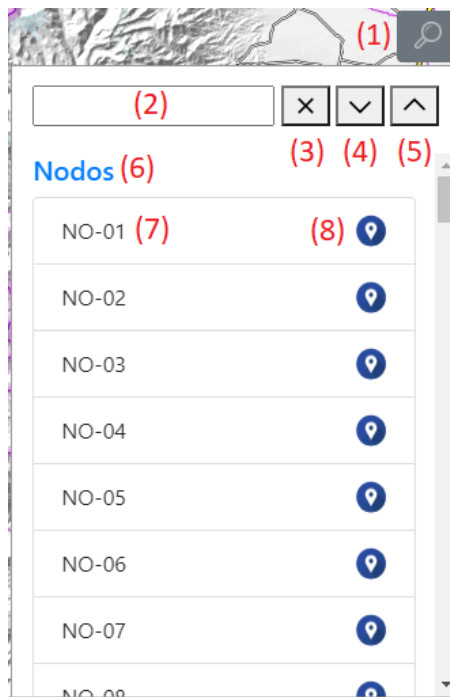


Figura 54. Buscador de funciones SimRapel.

El Buscador de funciones contiene lo siguiente:

1. Botón para abrir y cerrar el Buscador de funciones.
2. Cuadro de texto de búsqueda.
3. Borrar texto de búsqueda.
4. Expandir el botón de la lista de funciones.
5. Colapsar el botón de la lista de funciones.
6. Título de la capa.
7. Nombre del elemento.
8. Navegue hasta el icono del elemento (haga clic para desplazarse y acerque el mapa al elemento).

Visualizador de datos globales

Para comparar las diferentes estrategias a través de los resultados del modelo se utiliza el visualizador de datos globales (VDG) (Figura 55). Este componente es independiente del enfoque más detallado consistente en cargar y analizar una estrategia a la vez, descrito anteriormente. Debido a que esta herramienta solo contiene resultados pre-ejecutados, estos resultados están disponibles tan pronto como la herramienta se carga. El VDG contiene dos controles: (i) El usuario puede seleccionar las estrategias que quiere comparar; y (ii) los resultados específicos a visualizar. Luego, el VDG mostrará los resultados para las estrategias seleccionadas en el mismo gráfico.

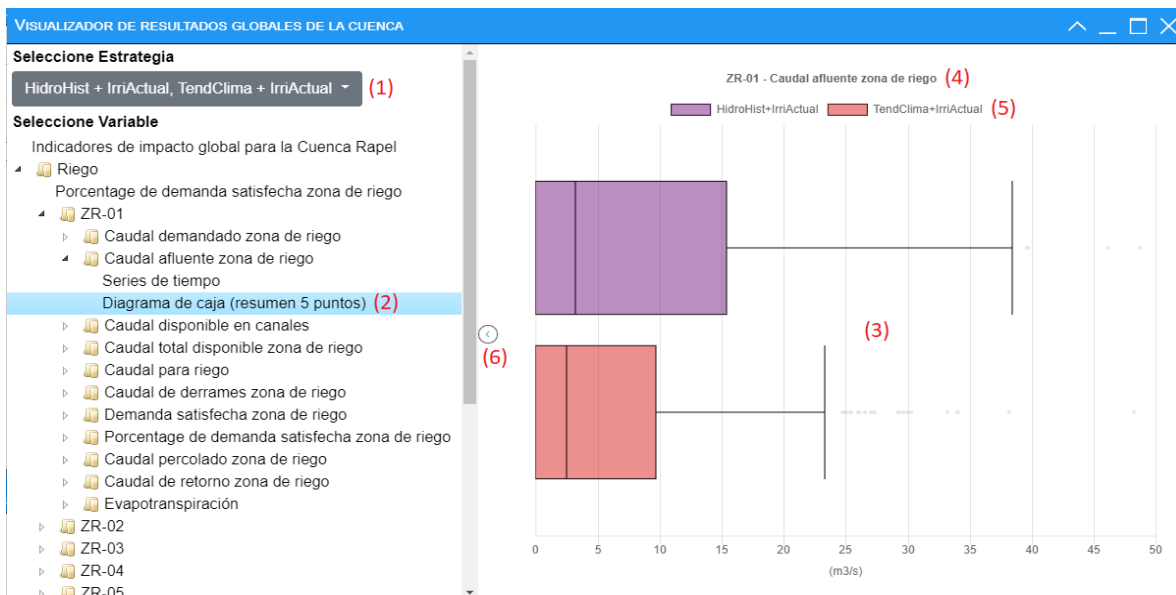


Figura 55. Visualizador de datos globales (VDG) SimRapel.

El Visualizador de datos globales contiene lo siguiente:

1. Botón desplegable para seleccionar una o más estrategias para comparar.
2. Vista en forma de árbol para seleccionar el resultado/variable específica a comparar.
3. Gráfico desplegado para comparar las estrategias seleccionadas.
4. Título del gráfico resultante.
5. Leyenda para las diferentes estrategias mostradas en el gráfico.
6. Mostrar/Ocultar el cuadro de control a la izquierda, para maximizar el área del gráfico.

Interpretación de gráficos

Gráficos de araña

Existen dos gráficos de arañas en la herramienta SimRapel, los que se indican en la Figura 56.

- 1) Indicadores de impacto global para la CRR: Permite comparar múltiples escenarios a través del análisis de cambios en 8 métricas a escala de Cuenca:
 - I. Recarga Total Acuífero Cachapoal
 - II. Recarga Total Acuífero Tinguiririca
 - III. Energía producida en la cuenca Rapel (centrales de pasada)
 - IV. Cota espejo de agua Embalse Rapel
 - V. Tasa de cambio (espacial) nivel freático Alhué
 - VI. Tasa de cambio (espacial) nivel freático Cachapoal
 - VII. Tasa de cambio (espacial) nivel freático Tinguiririca
 - VIII. Eficiencia hídrica de la cuenca (salidas/entradas)

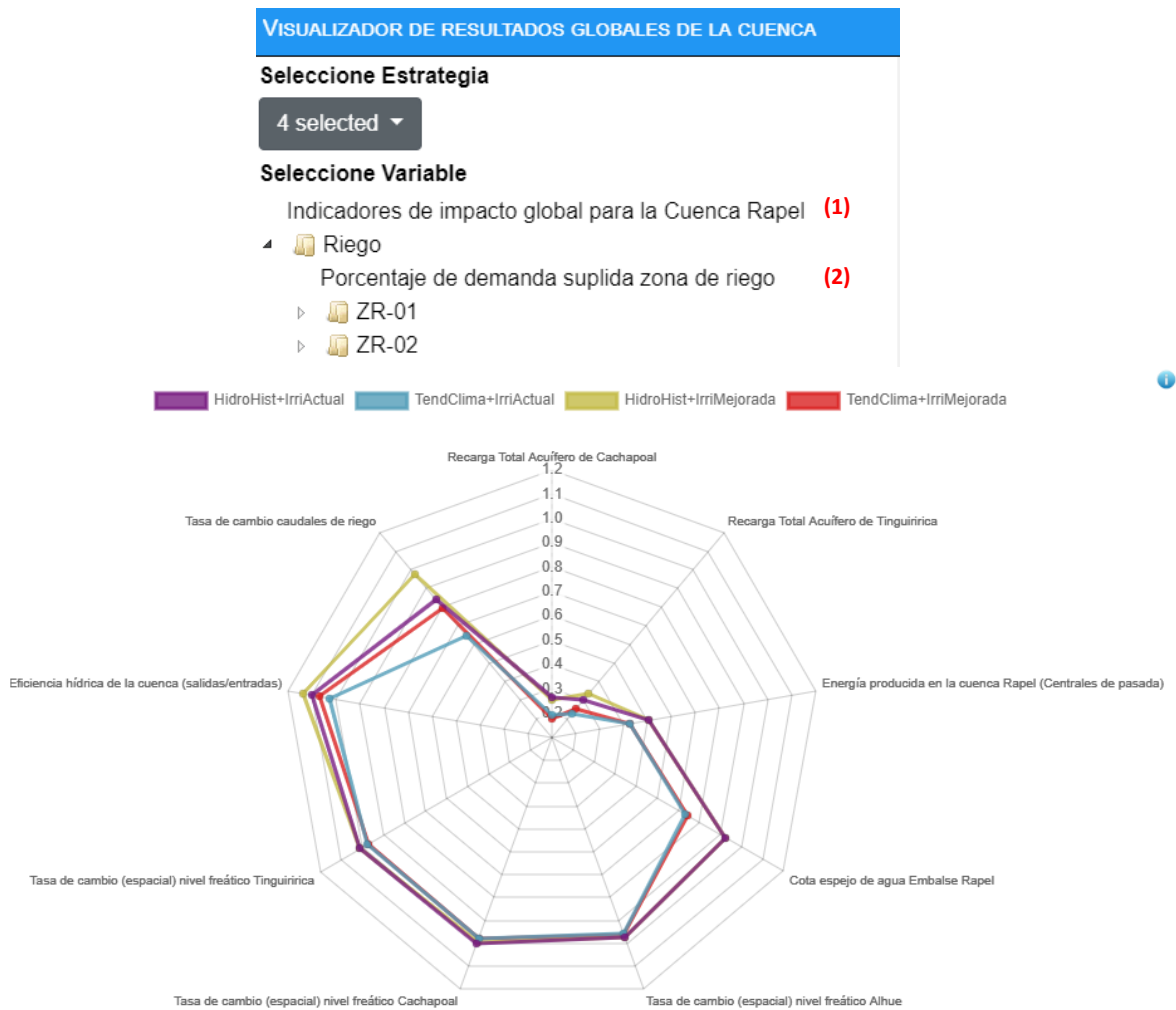


Figura 56. Ejemplo de gráfico de araña SimRapel.

- 2) Porcentaje de demanda satisfecha zona de riego: Permite comparar el porcentaje de demanda satisfecha entre múltiples escenarios para 12 zonas de riego. El porcentaje de demanda satisfecha se calcula como: $(\text{Demanda suplida mensual} / \text{Caudal demandado mensual}) * 100$.

Es importante destacar que, debido al método de implementación de la recarga de acuíferos gestionada (RAG) utilizando canales durante invierno, no es posible comparar algunas variables entre escenarios con y sin RAG, como la demanda suplida en zonas de riego.

La apertura de canales de riego durante el invierno es una de las acciones asociada a los escenarios de RAG. Esta acción permite la infiltración de agua desde el canal al acuífero, y fue implementada mediante una demanda hídrica impuesta durante los meses de invierno, asociada al 75% de la capacidad del canal, y alterando el valor de demanda hídrica en las zonas de riego.

Series de tiempo

Cada una de las variables disponibles en el visualizador de datos globales, como algunas disponibles desde el mapa de fondo, y la pestaña de Resultados, presentan gráficos de series de tiempo (Figura 57).

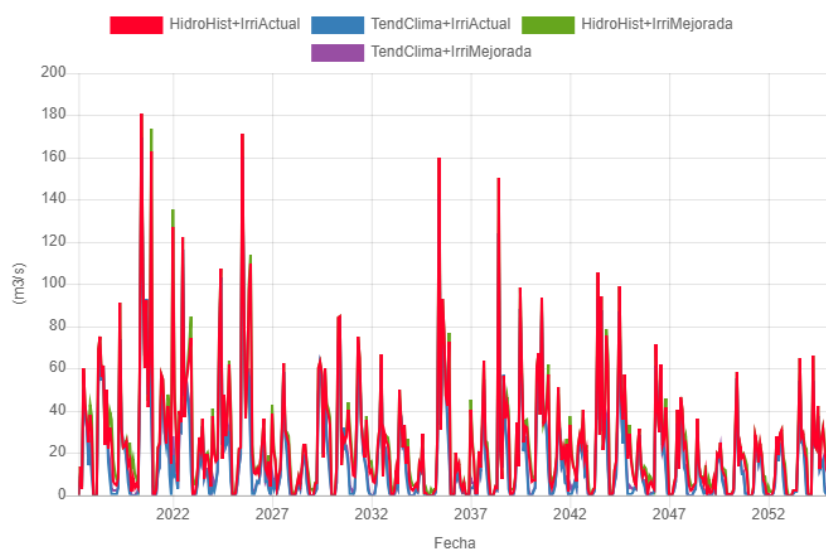


Figura 57. Ejemplo de serie de tiempo SimRapel.

Gráficos de cajas

Cada una de las variables disponibles en el visualizador de datos globales, como algunas disponibles desde el mapa de fondo presentan gráficos de cajas (Figura 58).

- La caja corresponde al rango intercuartílico (RIQ, donde se encuentra el 50% central de los datos) y la línea negra en su centro corresponde a la mediana.
- El bigote superior e inferior se calculan como $Q3 + 1,5 \cdot RIQ$ y $Q1 - 1,5 \cdot RIQ$, respectivamente, donde $Q3$ y $Q1$ corresponden al tercer y primer cuartil respectivamente.
- Los puntos grises corresponden a valores atípicos superiores e inferiores a los bigotes superior e inferior respectivamente.

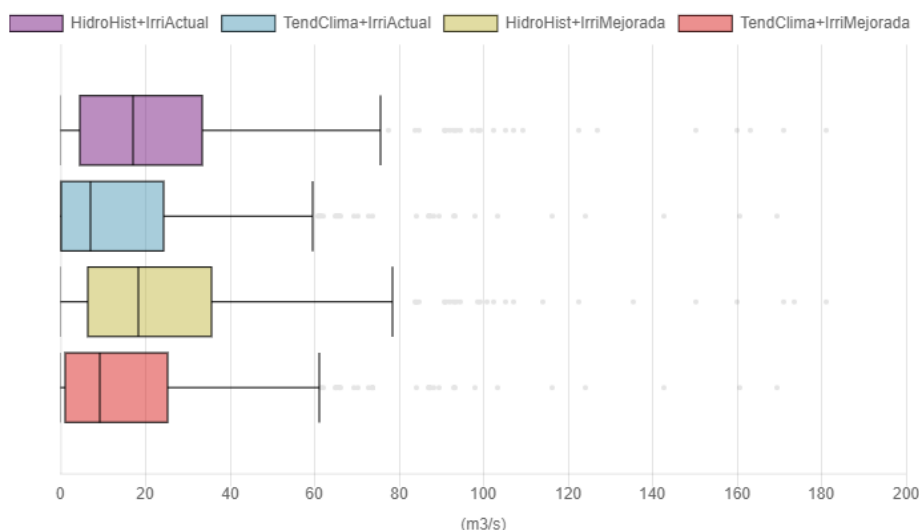


Figura 58. Ejemplo de gráficos de caja SimRapel.

Instalación

Requisitos previos: sistema operativo Windows 7 de 64 bits o superior y el ejecutable del instalador SimRapel.³¹

Simplemente ejecute el instalador³² y luego siga las instrucciones en el manual de usuario en el directorio donde instaló el producto.

El proceso es un poco más complejo que la aplicación promedio porque la herramienta requiere un entorno Python personalizado y un servidor web para funcionar. Esto significa que el producto es más que un simple archivo ejecutable con un solo clic, pero la mayor parte del proceso se automatiza con secuencias de comandos con solo unos pocos pasos manuales necesarios para que todo funcione.

4.4 Gobernanza de la Cuenca del Río Rapel

4.4.1 Propuesta de gobernanza

Objetivo del documento

El objetivo de este documento³³ es redactar una propuesta de gobernanza de los recursos hídricos de la Cuenca del Río Rapel (CRR) en base del trabajo realizado y la información recopilada por parte de los actores relevantes, como parte del proyecto “*SimRapel: Modelación participativa para la gobernanza del agua*”. Esta propuesta ha sido refinada en conjunto con los miembros del Grupo Asesor (GA) y ha sido generalmente acordada y validada.

Antecedentes

El proyecto SimRapel tiene por objetivo promover y facilitar la gobernanza del agua en la CRR. Durante la primera etapa de este proyecto se realizó una serie de talleres participativos con un grupo amplio de actores

³¹ Nota: 32 bits, Linux y Mac OS también son posibles, pero no se describen aquí.

³² Descargar herramienta en: <https://research.csiro.au/gestionrapel/proyectos-simrapel-modelacion-participativa-para-la-gobernanza-del-agua/>

³³ La propuesta de gobernanza se redactó como un documento independiente para facilitar la revisión y contribución de los miembros del GA.

clave de la cuenca para levantar las principales necesidades, desafíos, problemas y oportunidades con respecto a la gestión de los recursos hídricos en la CRR. Lo anterior fue un insumo a la elaboración de una visión compartida realizada por, y para, los actores clave.

Los temas mencionados por los actores con respecto a las necesidades y los desafíos de la CRR fueron agrupados en 5 categorías: i) disponibilidad de agua; ii) uso de agua; iii) institucionalidad de agua; iv) agua y el medio ambiente; y v) agua y la sociedad. Un análisis de los temas más recurrentes entre los actores reveló que la institucionalidad del agua es uno de los desafíos más eminentes, con énfasis particularmente en la necesidad de involucrar todos los usuarios del agua relevantes en el proceso de toma de decisiones y de contar con una entidad integradora para gobernar los recursos hídricos a nivel regional y local (ej. organización de cuenca).

Al inicio de este proyecto se estableció un Grupo Asesor (GA) que hoy en día consiste en 16 actores de los sectores públicos, privados y de sociedad civil, y cuyo objetivo es apoyar el proceso de toma de decisiones del proyecto, guiar discusiones y sesiones participativas, validar resultados y proporcionar información y sugerencias. Durante un proceso de 4 años, el GA ha ido consolidándose como una entidad profesional, que comparte información, conocimiento y horas de trabajo, fomentando confianza entre los actores y permitiendo un trabajo colaborativo bajo una visión común de la cuenca. Los actores que conforman el GA quieren formalizar esta importante experiencia para que se pueda transformar en una entidad influyente y con tracción que sea parte integral de la gobernanza de la cuenca.

La gobernanza de los recursos hídricos puede ser interpretada en diferentes formas, pero una definición ampliamente utilizada proviene de la OCDE (2015):

“Conjunto de reglas, prácticas y procesos políticos, institucionales y administrativos (formales e informales) mediante los cuales: se toman e implementan decisiones, los actores presentan sus intereses y preocupaciones, y los tomadores de decisión rinden cuentas por la gestión del agua”.

Metodología

Se desarrollaron diversas actividades para el diseño de una gobernanza ajustada al contexto local. Se evaluó el posicionamiento de los actores de la cuenca y sus relaciones, se estudiaron diferentes modelos de gobernanza en el mundo y se realizaron reuniones para articular una gobernanza participativa en colaboración con los actores de la cuenca.

En primer lugar, se realizó un mapeo y análisis de los actores clave de la cuenca que fueron divididos en 2 grupos: el *Grupo Asesor (GA)* y *Actores Relevantes*. Con el fin de entender el posicionamiento y relevancia de cada participante del GA, se analizaron los actores en términos de influencia e interés en la implementación de la gestión de los recursos hídricos en la CRR.

Luego, se realizó un análisis de las interacciones entre los actores que permitió la identificación y cuantificación sobre cómo se relacionan los miembros del GA en materias relevantes a la gestión de recursos hídricos en la CRR. A través de encuestas con los actores, se analizaron flujos de información, redes de colaboración y flujos de dinero entre instituciones. Además, se analizó la influencia de los actores sobre los elementos de la visión.

Se estudiaron distintos modelos de gobernanza de recursos hídricos en el mundo y en Chile con el fin de entender cuáles se ajustan más a la CRR y cuáles menos. Este trabajo fue presentado y discutido con los miembros del GA, con el fin de articular un modelo apropiado para la cuenca. Es importante destacar que se

han propuesto varios esquemas de gobernanza a escala de cuenca en Chile³⁴. Sin embargo, ningún esquema ha logrado concretarse, posiblemente debido a la complejidad de implementarlos. Por esta razón, se consideró importante plantear una propuesta de gobernanza sencilla y que aumente su probabilidad de adopción.

Este trabajo fue un proceso iterativo que involucró la participación constante del GA en el levantamiento de insumos y la toma de decisiones que permitió la elaboración de esta propuesta de gobernanza para la CRR.

Gobernanza de la cuenca del Río Rapel

El sistema hídrico actual de la CRR, incluyendo la infraestructura y la gobernanza, fue generado en tiempos de abundancia de agua. Sin embargo, actualmente nos encontramos ante una sequía de más de una década, disyuntiva que ha sido recogida por el GA en sus reuniones. De este modo, el GA evaluó la gobernanza actual de la región e identificó una importante necesidad para reestructurarla, con el fin de solucionar la falta de comunicación y potenciar la colaboración en la toma de decisiones para enfrentar la sequía y las diversas problemáticas de la región de forma eficiente, además integrando a todos los usuarios del agua³⁵. Cabe de mencionar que se incluyen los sectores que normalmente están excluidos del proceso de toma de decisiones; por ejemplo, el medio ambiente o actores sin derechos de aprovechamiento de agua.

La gobernanza tiene por objetivo general: la gestión integrada de los recursos hídricos de la CRR para avanzar hacia el logro de la visión compartida y acordada por los actores clave de la cuenca, que consiste en:

“En el 2050, la cuenca del río Rapel tendrá una gestión integrada de los recursos hídricos. Por medio de un organismo de cuenca, las decisiones serán tomadas de manera coordinada, considerando las necesidades ambientales, sociales y económicas e involucrando a todos los sectores relevantes en una atmósfera de asociatividad y confianza. La calidad del agua cumplirá con todas las normas a lo largo de la cuenca y con el fin de garantizar el consumo a todos los usuarios, se utilizarán de manera eficiente diversas fuentes de agua y la infraestructura, siempre en función de la disponibilidad actual y futura del recurso. La evaluación y planificación del recurso será transparente, utilizando ciencia y tecnología para abordar los riesgos naturales y adaptarse al cambio climático.”

Estructura organizacional

La gobernanza de la cuenca se plantea sobre la base de la institucionalidad regional actual, por lo cual su puesta en funcionamiento podrá realizarse sin depender de cambios estructurales en la normativa. La estructura organizacional de la gobernanza propuesta contempla tres principales instancias de participación, cada una con distintos roles complementarios (Figura 59).

³⁴ a) Gestión de los recursos hídricos corporación de cuenca del río Biobío – DGA y EUROPACT (1995); b) La gestión de cuencas en Chile: Experiencias en gobernanza del agua. Estudio de Caso Región de Atacama, Chile - Centro de Atacama Agua y Energía – CORFO (2010); y c) Plan de gestión integrada de recursos hídricos de la cuenca del río Choapa (propuesta de gobernanza y estatutos para la corporación de cuenca del río Choapa). DGA y Rodhos Asesorías y Proyectos Ltda. (2017).

³⁵ Se entiende por la colaboración y la cooperación como la agrupación de ideas y recursos, por ejemplo, información, dinero, trabajo, etc., realizada por dos o más actores para resolver un problema que ninguno puede resolver de manera individual. Además, la colaboración se considera hoy como un imperativo dentro de las organizaciones públicas-privadas. Los componentes centrales de la colaboración -la inclusividad, el holismo y la representatividad- tienen por objeto incorporar opciones y recursos de múltiples actores combatiendo los problemas de acción colectiva. Esto está en contraste con otras formas de gobernanza comunes, tales como los enfoques basados mayormente en los que enfatizan los estilos de “comando y control” o de incentivos económicos. De hecho, la colaboración refleja un giro distancial, lejos de otras formas de actividad interorganizacional como la interacción basada en el mercado o el control jerárquico, que a menudo puede ser ineficaz para resolver los problemas complejos de la gestión del agua. Harrington, C. (2017). The Political ontology of collaborative water governance. *Water International*, <https://doi.org/10.1080/02508060.2017.1309507>.

Los *Actores Locales* generan la demanda por medidas de gestión, aportan información territorial valiosa y son un medio importante en la difusión de iniciativas y resultados en la cuenca.

El *Comité de Cuenca* tiene un foco técnico que se relaciona con los *Actores Locales* y otras iniciativas relevantes en la cuenca (ej. programas, proyectos, medidas etc.), con el fin de recoger necesidades, proponer ideas y elaborar e implementar un Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (PGIRH) para lograr la visión de la cuenca. Es importante que el *Comité de Cuenca* tenga autonomía y que sea independiente de intereses particulares provenientes del sector privado, del sector público o de la sociedad civil. En este sentido, es probable que el *Comité de Cuenca* deba materializarse en una corporación de derecho privado sin fines de lucro.

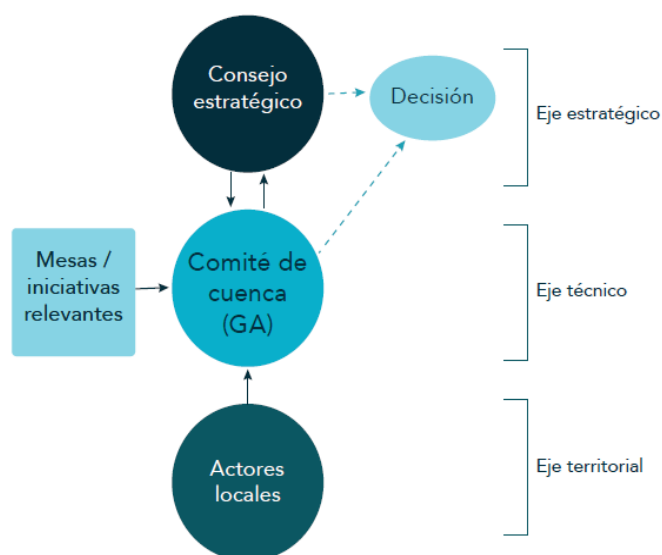


Figura 59. Estructura organizacional gobernanza cuenca Rapel.

El *Consejo Estratégico* proporciona orientación estratégica económica y política al *Comité de Cuenca*. Está compuesto por un grupo de actores de la cuenca con un importante grado de influencia y responsabilidad que pueden tomar decisiones por parte de su organización. Este *Consejo Estratégico* corresponde a una figura genérica y no a una en particular; se refiere a cualquier instancia que pueda representar los intereses estratégicos de recursos hídricos a nivel regional. En efecto, el esfuerzo de este trabajo está orientado a la implementación del *Comité de Cuenca*, el que idealmente estaría complementado con una instancia de esta naturaleza.

Roles y funciones

Actores Locales

Los *Actores Locales* son usuarios de agua, funcionarios públicos, instituciones académicas y científicas, representantes del medioambiente, turismo y la sociedad civil. Colaboran en talleres y seminarios ampliados organizados por el *Comité de Cuenca*, constituyendo la instancia formal de participación ciudadana. Los *Actores Locales* cumplen las siguientes funciones principales:

- levantan preocupaciones y desafíos sobre los recursos hídricos de la CRR;
- proponen oportunidades para avanzar hacia el logro de la visión de la cuenca;
- proporcionan conocimiento local y territorial sobre la cuenca; y
- dan legitimidad y sentido práctico al proceso de gobernanza.

Comité de Cuenca

El *Comité de Cuenca*, basado en el actual GA, está conformado por hasta 19 representantes³⁶ del sector público, del sector privado, de la sociedad civil y del sector académico y científico. Su objetivo es avanzar hacia el logro de la visión de la CRR mediante la colaboración participativa y la toma de decisiones basadas en la mejor evidencia científica disponible. El *Comité de Cuenca* cumple las siguientes funciones:

- levanta desafíos, preocupaciones y conocimiento de los *Actores Locales* en talleres ampliados, reuniones y otras instancias;
- actualiza la visión de la cuenca y desarrolla un PGIRH³⁷ para su logro, basado en la mejor información disponible;
- sistematiza conocimiento e información relevante relacionada con los recursos hídricos de la cuenca;
- asegura la transparencia en la toma de decisiones;
- formula y evalúa propuestas para nuevas iniciativas, estudios, proyectos y herramientas;
- adopta las medidas que se estime convenientes para promover la gestión integrada, sostenible y sustentable de las aguas de la CRR; y
- apoya la difusión y educación ciudadana.

Consejo Estratégico

Asumiendo su existencia, el *Consejo Estratégico* es conformado por hasta 9 representantes del sector público, del sector privado, de la sociedad civil y el Presidente del *Comité de Cuenca*³⁸. Hay consenso general en que el *Consejo Estratégico* debería ser liderado por el Gobernador Regional³⁹ y será su responsabilidad determinar finalmente sus integrantes. De todos modos, es importante indicar que dentro del GA se mencionó que las siguientes instituciones debiesen participar en el *Consejo Estratégico*:

- | | |
|---|---|
| ○ Gobernador Regional | ○ Federación de Juntas de Vigilancia de la Sexta Región (FJVSR) |
| ○ Intendente (en su nueva figura) | ○ Codelco |
| ○ Consejo Regional | ○ Enel |
| ○ Municipalidades | ○ Essbio |
| ○ Dirección General de Aguas / SEREMI
Ministerio de Obras Públicas | ○ Asociación Gremial de Agua Potable (AGRESAP) |

³⁶ Se prefiere un número de participantes impar para evitar la posibilidad de empate.

³⁷ El PGIRH tendrá un horizonte de largo plazo (25 años), será revisado anualmente con la publicación de un reporte público y será actualizado cada 5 años para asegurar flexibilidad en un contexto cambiante. El *Comité de Cuenca* propondrá instrumentos y métricas para el mejor cumplimiento de las iniciativas dentro del PGIRH y buscará la aprobación por parte del *Consejo Estratégico*. Las iniciativas dentro del PGIRH deberían ser ambiciosas pero alcanzables y con líneas de financiamiento propuestas que podrían provenir de fuentes regionales, nacionales y/o internacionales de servicios públicos y/o instituciones privadas.

³⁸ En el caso que el Presidente del *Comité de Cuenca* ya sea un integrante en el *Consejo Estratégico*, se deberían invitar a otro actor para integrarse temporalmente al *Consejo Estratégico* para mantener el número constante de participantes.

³⁹ De acuerdo al Art. 23 de la Ley 21.073, se crea la figura de Gobernador Regional, órgano ejecutivo del Gobierno Regional, desapareciendo la figura actual de Intendente.

Es recomendable que participe la principal autoridad de la organización representada, de modo que tenga influencia y responsabilidad en las decisiones (por ejemplo, los directores regionales de servicio o presidente de la organización)⁴⁰.

Es recomendable que participe la principal autoridad de la organización representada, de modo que tenga influencia y responsabilidad en las decisiones (por ejemplo, los directores regionales de servicio o presidente de la organización)⁴¹.

El *Consejo Estratégico* cumple las siguientes funciones:

- evalúa y aprueba el PGIRH, y estima los requisitos sociales, económicos y políticos para su implementación a nivel regional;
- alinea el PGIRH con estrategias y planes locales, regionales y nacionales;
- promueve la gestión integrada de los recursos hídricos y apoya el cumplimiento de la visión de la CRR; y
- vela por la transparencia en la ejecución, mejora y adecuación de la gobernanza y la gestión hídrica.

Implementación del Comité de Cuenca

Para la implementación del *Comité de Cuenca* se acordó que la figura legal más apropiada es la generación de una nueva Corporación sin fines de lucro, permitiendo que sea una institución independiente y facilitando su proyección a largo plazo. Un aspecto crucial relacionado con esta formalización será la elaboración de sus estatutos, los cuales constituyen el documento formal por el cual se definen sus participantes, funciones, obligaciones, responsabilidades y derechos de los distintos actores.

Para poner a prueba el *Comité de Cuenca*, y en consideración del esfuerzo y las complejidades asociadas a la creación y operación de una nueva entidad legal de estas características, en el corto plazo se propone la implementación de un *Reglamento Transitorio* (ver sección 4.4.2) que permite al GA actual tomar el papel de un *Comité de Cuenca* durante 12-24 meses. Para su puesta en marcha se sugiere que el *Comité de Cuenca* inicialmente sea vinculado a una iniciativa relevante en la región, por ejemplo, un proyecto o programa existente, donde se puede ejercitar y tomar decisiones. Luego de este periodo, en función de la experiencia adquirida, se redactará los estatutos finales y se constituirá legalmente el *Comité de Cuenca*.

El *Reglamento Transitorio* asume una futura corporación y contempla la creación de un Directorio de 5 instituciones que actualmente forman parte del GA. Idealmente este Directorio será representativo de la gestión de los recursos hídricos de la cuenca (ej. actores públicos, privados, sociedad civil). El primer paso para la constitución del primer Directorio es el ofrecimiento voluntario de aquellas instituciones del GA interesadas en ejercer este cargo, nombrando a una persona para su representación.⁴²

⁴⁰ Podrían ocurrir casos en donde la misma institución participa simultáneamente en el *Comité de Cuenca* y el *Consejo Estratégico*; si este es el caso, es recomendable que sea representada por una persona distinta, en función del alcance de cada una de estas instancias.

⁴¹ Podrían ocurrir casos en donde la misma institución participa simultáneamente en el *Comité de Cuenca* y el *Consejo Estratégico*; si este es el caso, es recomendable que sea representada por una persona distinta, en función del alcance de cada una de estas instancias.

⁴² Las reglas de operación del *Comité de Cuenca* que fueron revisados por el GA están incluidas en el *Reglamento Transitorio*.

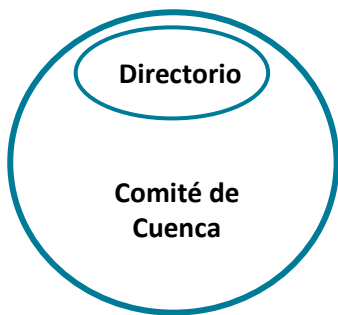


Figura 60. El directorio como parte del Comité de Cuenca, ejercitando como una Corporación sin fines de lucro.

Una vez que el *Reglamento Transitorio* esté acordado por las instituciones participantes en el *Comité de Cuenca*, se requerirá que cada una firme su aprobación y participación. Es importante destacar que requerirá de un gran compromiso por parte de los actores. En paralelo, se requerirá la aprobación y transferencia de los recursos iniciales de inversión, y la contratación del personal mencionado a continuación y su instalación en la sede donde residen⁴³. Serán las instituciones participantes del *Comité de Cuenca* quienes validarán su implementación a través de la aplicación de un mecanismo de monitoreo de desempeño, el cual será definido por el Directorio en su primera sesión.

Recursos requeridos para el *Comité de Cuenca*

Para su operación, el *Comité de Cuenca* requerirá de personal para su administración, coordinación y generación de información. En base a la experiencia del GA y de casos similares, se ha dispuesto que el GA deberá contar con los siguientes cargos: i) Coordinador Ejecutivo de Recursos Hídricos; y ii) Técnico de Recursos Hídricos. A su vez, el *Comité de Cuenca* incurrirá en gastos operacionales relacionados con la movilización, difusión, insumos, etc.

El presupuesto anual para el funcionamiento del *Comité de Cuenca* durante los primeros años fue estimado en aproximadamente \$71.000.000 de pesos (alrededor de \$5.900.000 mensuales), y contempla gastos requeridos para la contratación de personal y gastos operacionales. Es probable que a modo que el *Comité de Cuenca* vaya consolidándose y comience a ejercer nuevos roles en la gestión del agua, se requerirán recursos adicionales para financiar las nuevas capacidades demandadas⁴⁴ y asegurar su robustez y sustentabilidad en el tiempo. Se propone que el financiamiento del presupuesto sea público-privado, donde el Gobierno Regional financia el 50% del presupuesto y las instituciones privadas que participan en el *Comité de Cuenca* financian el restante 50%⁴⁵. A continuación, se presenta el detalle del presupuesto estimado.

⁴³ Hay conversaciones activas con algunas instituciones de la Región para cumplir este papel.

⁴⁴ Por ejemplo, capacidades que permiten el monitoreo del agua en tiempo real, nuevas modelaciones, capacitación de otros actores, participación en la fiscalización, etc.

⁴⁵ Es una propuesta y dependerá de la voluntad de las instituciones participantes.

Tabla 21. Presupuesto estimado para el funcionamiento del Comité de Cuenca.

Personal

Cargo	Descripción	Perfil	Funciones	Presupuesto anual
Coordinador Ejecutivo de Recursos Hídricos	Administrar y coordinar los esfuerzos del <i>Comité de Cuenca</i> , implementar sus decisiones y asegurar el cumplimiento de las reglas de operación.	Un profesional con al menos 6 años de experiencia laboral en el ámbito de la gestión de recursos hídricos y con experiencia en la coordinación de procesos participativos con distintos actores. Idealmente cuenta con grado de magíster en materia relacionada al cargo.	i) Administrar y coordinar los esfuerzos del <i>Comité de Cuenca</i> , velando por su correcto funcionamiento; ii) diseñar y organizar el contenido de trabajo en conjunto con el Presidente del <i>Comité de Cuenca</i> ; iii) organizar sesiones, reuniones y seminarios y relacionarse con todos los actores relevantes; iv) recoger las proposiciones del <i>Comité de Cuenca</i> para la realización del PGRIH y proponer su revisión y actualización en el tiempo establecido; v) celebrar actas de todas las sesiones de trabajo; vi) coordinar el trabajo del <i>Técnico de Recursos Hídricos</i> , según las necesidades de los actores de la cuenca; vii) promover la implementación de principios de GIRH en la toma de decisiones.	\$36.000.000 (corresponde a un sueldo estimado de \$3.000.000 bruto mensual de dedicación exclusiva)
Técnico de Recursos Hídricos	Proporcionar apoyo técnico al <i>Comité de Cuenca</i> y los actores de la cuenca en términos de la facilitación de información sobre los recursos hídricos.	Un profesional con al menos 3 años de experiencia en la gestión de datos y modelación de recursos hídricos. Conocimiento y experiencia con diferentes herramientas de gestión computacionales.	i) Levantar, sistematizar y analizar datos e información relacionados con la gestión de recursos hídricos en la región; ii) proporcionar información específica solicitada por el <i>Comité de Cuenca</i> para facilitar su trabajo y alimentar el desarrollo, implementación y seguimiento del PGRIH; iii) mantener y actualizar las herramientas y modelos relacionados con la gestión de los recursos hídricos en la región (ej. modelos hidrológicos, pronósticos climáticos, sistemas de información, etc.).	\$21.600.000 (corresponde a un sueldo estimado de \$1.800.000 bruto mensual de dedicación exclusiva)
Subtotal				\$57.600.000

Operación

Ítem	Descripción	Recursos requeridos/disponibles	Presupuesto anual	
Seminarios y/o talleres y reuniones	La realización de 2 seminarios anuales con los <i>Actores Locales</i> ; 6 sesiones anuales del <i>Comité de Cuenca</i> ; 4 reuniones anuales del <i>Consejo Estratégico</i> .	Se utilizará infraestructura disponible (ej. salas/auditorio del MOP, el GORE o la Universidad de O'Higgins) para la realización de los talleres y reuniones. Se requiere un presupuesto pequeño para el servicio de café para estas instancias.	\$1.200.000	
Movilización	Movilización dentro de la región para visitar diferentes actores relevantes, levantar información y difundir acciones.	Arriendo de auto y combustible.	\$4.000.000	
Materiales de consumo	Materiales requeridos para el desarrollo de actividades en reuniones y talleres, etc.	Papeles, impresión, lápices, etc.	\$4.000.000	
Computadores	Computadores requeridos por los dos profesionales mencionados.	1 computador regular y 1 computador de alta rendimiento para el técnico que requiere realizar modelación etc. (computadores renovados cada 4 años)	\$875.000	
Subtotal				\$10.075.000
Gastos administrativos	El <i>Comité de Cuenca</i> tendrá gastos en actividades administrativas, tales como, generación de contratos, análisis financiero, etc.	Se calcula que se requiere aproximadamente un 5% del costo anual del <i>Comité de Cuenca</i> .	\$3.383.750	
TOTAL			\$71.058.750	

4.4.2 Reglamento Transitorio

Alcance del reglamento

El presente documento⁴⁶ tiene como objetivo establecer un conjunto de reglas para el funcionamiento de aquella parte de la gobernanza que corresponde al *Comité de Cuenca*, definido en la Propuesta de Gobernanza para la Cuenca del Río Rapel (CRR)⁴⁷. Su carácter transitorio se debe a que lo que se busca es alcanzar una institucionalidad definitiva y permanente que se materialice en la conformación de una Corporación de derecho privado sin fines de lucro, que aborde todos los aspectos relacionados con la gobernanza del *Comité de Cuenca*. En efecto, este *Reglamento Transitorio* permite al Grupo Asesor (GA) actual tomar el papel de un *Comité de Cuenca* durante un período de 12 a 24 meses, dentro de cual se debieran iniciar los trámites de constitución de la nueva Corporación.

En consecuencia, las partes que se individualizan en el Anexo⁴⁸ de este documento, que se entienden como los integrantes del *Comité de Cuenca* y futuros socios de la Corporación, vienen en este acto, en aprobar el presente reglamento que regula transitoriamente el *Comité de Cuenca* del Río Rapel.

Sin perjuicio de lo anterior, en el futuro se podrán integrar nuevos miembros al *Comité de Cuenca* y a este *Reglamento Transitorio*. Estos deberán cumplir con las siguientes condiciones: a) ser una persona jurídica pública o privada que tenga interés en la gestión de la CRR; b) ser patrocinado por al menos tres miembros permanentes; y c) la incorporación deberá ser aprobada por dos tercios del *Comité de Cuenca*.

La gobernanza se estructura en torno a la existencia del *Comité de Cuenca* actuando en pleno, más un *Directorio Transitorio* formado por miembros del Comité.

A continuación, se detalla la composición y las funciones de cada uno de estos órganos. El presente reglamento estará vigente hasta que se complete la creación de la nueva persona jurídica. En la nueva Corporación se contemplará la existencia de los mismos órganos mencionados, con igual composición y funciones.

Comité de Cuenca

1. Composición e integrantes:

El *Comité de Cuenca* está integrado originalmente por las instituciones firmantes de este documento⁴⁹ que nombran un representante titular y un suplente para el caso de ausencia o impedimento del titular.

El *Comité de Cuenca* es la instancia superior para la toma de decisiones respecto a este *Reglamento Transitorio*. Las decisiones adoptadas por el *Comité de Cuenca* no podrán afectar en ningún caso las competencias de los representantes del sector público que lo integran y tendrán valor en la medida que sean concordantes con dichas facultades.

El *Comité de Cuenca* sesionará con una frecuencia no superior a cuatro meses y cada vez que sea requerido por al menos la tercera parte de sus miembros, o cuando sea solicitado por el *Directorio Transitorio*.

⁴⁶ El Reglamento Transitorio se redactó como un documento independiente para facilitar la revisión y contribución de los miembros del GA.

⁴⁷ Documento anteriormente entregado y revisado por el GA como parte del proyecto denominado "SimRapel" (ver Sección 4.4.1).

⁴⁸ Anexo "individualización de los comparecientes" está incompleto hasta que los miembros del GA deciden firmar este reglamento transitorio.

⁴⁹ Quienes provienen del actual GA.

2. Duración:

La duración del *Comité de Cuenca*, bajo esta fórmula de funcionamiento, estará limitada por la creación de la nueva persona jurídica, lo que se espera no se extienda más allá de 24 meses a partir de la suscripción de este documento. Por lo tanto, una vez concluido el proceso de creación de la misma, el *Comité de Cuenca* cesará en sus funciones bajo de esta fórmula y continuará a través de la Asamblea de socios de la Corporación que se espera crear al efecto.

3. Funcionamiento:

El quórum mínimo para las sesiones del *Comité de Cuenca* será la mayoría absoluta de los miembros y sus decisiones se adoptarán por mayoría absoluta de los asistentes. Presidirá las sesiones quién ejerza el cargo de Presidente del Directorio.

De las sesiones del *Comité de Cuenca* se levantará una minuta, que contendrá a lo menos: fecha, hora y lugar de la sesión, los asistentes con expresa mención al tipo de concurrencia, los principales puntos tratados y los acuerdos tomados en la sesión. Esta minuta será enviada, para revisión, dentro del tercer día siguiente de la sesión.

En caso de renuncia de alguna institución, ésta deberá emitir una carta formal que consigne el motivo de su renuncia al *Comité de Cuenca*.

4. Funciones:

Las funciones del *Comité de Cuenca* serán:

- Elegir en su primera sesión, por un quórum mínimo de dos tercios de la totalidad de sus integrantes, a los cinco miembros del *Directorio Transitorio*;
- Levantar desafíos, preocupaciones y conocimiento de los demás actores de la CRR en talleres, reuniones y otras instancias;
- Actualizar la visión de la CRR, en caso de ser necesario, y elaborar e implementar un Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (PGIRH)⁵⁰ ;
- Sistematizar conocimiento e información relevante relacionada con los recursos hídricos de la CRR;
- Formular y analizar propuestas para nuevas iniciativas, estudios, proyectos y herramientas que aborden los desafíos y necesidades de la CRR; y
- Tratar cualquier asunto que sea de interés de los integrantes del *Comité de Cuenca* y tenga relación con la gestión integrada, sostenible y sustentable de los recursos hídricos de la CRR.

5. Reglas de operación:

- Se promoverá una participación equitativa de género durante las sesiones del *Comité de Cuenca*⁵¹ y representativa de todos los sectores relevantes a la gestión de recursos hídricos de la CRR.
- Se esperará un alto compromiso de asistencia a las sesiones. Si una institución faltase a dos reuniones durante un año, su permanencia en el *Comité de Cuenca* será evaluada por el Directorio.
- Las citaciones a sesiones incluirán una agenda sugerida. En la medida que sea necesario, se enviarán documentos con anticipación para que los participantes los revisen previamente a la sesión. Las

⁵⁰ Este consiste en la elaboración de un nuevo plan, en caso de ser necesario, o la adopción y mejora de un plan existente, por ejemplo, el Plan de Gestión Estratégica de la Cuenca del Río Rapel que se elaborará la Dirección General de Aguas durante 2021.

⁵¹ Se sugiere que ningún género tenga más del 70% de representación en las sesiones.

sesiones serán facilitadas por el Coordinador Ejecutivo; la facilitación supone velar por que las sesiones sean constructivas, cubran los contenidos acordados, garanticen una participación equilibrada de los participantes y, en suma, cumplan los objetivos de un modo eficiente y efectivo.

- En general los documentos (propuestas, agendas de trabajo de talleres, informes parciales, informes finales, etc.) serán enviados con anticipación a las sesiones y se contará con un plazo de tiempo razonable para recibir comentarios. Se asumirá que quienes no envíen comentarios a tiempo, aprueban el documento en cuestión y no tienen mayores reparos ni observaciones.
- Se privilegiará la toma de decisiones por consenso para fomentar la colaboración y para minimizar la posibilidad de que haya miembros del *Comité de Cuenca* que disientan sobre una decisión. Esto no quiere decir que cada miembro apoya una decisión con el mismo nivel de entusiasmo, pero sí que están de acuerdo que se siga adelante con una decisión específica. La regla general para tomar decisiones será: i) reunir y discutir los hechos y argumentos relevantes; ii) explorar posibilidades de acción/decisión; iii) acordar criterios relevantes para tomar la decisión; y iv) tomar la decisión y elaborar un plan de acción satisfactorio. En caso de diferencias entre los participantes, los miembros podrán llamar a votación para llegar a una decisión, conforme con la mayoría absoluta de los asistentes (es decir, mayor o igual a 51% de la votación). Si se produce empate, se volverá a votar para las dos decisiones/acciones con mayores votos.
- Se buscará el máximo de transparencia en el funcionamiento y la toma de decisiones del *Comité de Cuenca*. No obstante, los miembros del *Comité de Cuenca* podrán acordar algún grado de confidencialidad para ciertas materias o documentos que a su juicio no debiesen ser compartidos con terceras partes.
- Con el fin de levantar desafíos, preocupaciones y conocimiento de otros actores de la CRR, se celebrará, por lo menos, un taller y/o seminario ampliado anualmente, no pudiendo transcurrir más de 14 meses entre una y otra instancia.

Directorio

1. Composición e integrantes:

El Directorio Transitorio estará compuesto por cinco miembros del *Comité de Cuenca*. A las sesiones asistirán los representantes titulares, quienes podrán ser reemplazados por sus representantes suplentes en caso de ausencia o impedimento del titular.

Los integrantes del *Directorio Transitorio* serán los representantes que las instituciones que conforman el *Comité de Cuenca* hayan designado para esta instancia. Dentro de los cupos titulares, al menos uno de ellos debe representar a las entidades del sector privado, otro a las instituciones del sector público y otro a las instituciones de la sociedad civil. Los restantes cupos no tendrán esta restricción. Por su parte, los cupos titulares no pueden pertenecer completamente a sólo un género. Excepcionalmente, y por unanimidad del *Comité de Cuenca*, podrá existir un integrante que no forme parte de ninguna de las instituciones que forman parte del *Comité de Cuenca* y que tendrá el carácter de director independiente.

En caso de renuncia de algunos de los miembros, su reemplazante deberá ser acordado por la mayoría absoluta de los miembros del *Comité de Cuenca* que concurren con su voluntad a este acto, cumpliendo con la distribución y requisitos antes descritos.

2. Duración:

La duración del Directorio, bajo esta fórmula de funcionamiento, estará limitada por la creación de la nueva persona jurídica, lo que se espera no se extienda más allá de 24 meses a partir de la suscripción de este documento. Por lo tanto, una vez concluido el proceso de creación de la misma, el *Directorio Transitorio*

cesará en sus funciones, pudiendo transformarse en el Directorio Permanente de la Corporación que se espera crear al efecto. Sin perjuicio de lo anterior, los miembros designados por el presente instrumento tendrán una duración máxima de dos años, a partir de su designación que coincide con la entrada en vigencia del presente reglamento. Expirado este plazo, será necesario renovar los nombramientos, lo que se hará por decisión de los dos tercios de los miembros del *Comité de Cuenca*, conforme además, a las categorías y distribución de cargos descritas anteriormente.

3. Funcionamiento:

El quórum mínimo para las sesiones del Directorio será la mayoría absoluta de los miembros, es decir 3 de los 5 directores, y sus decisiones se adoptarán por mayoría absoluta de los asistentes. Sin perjuicio de lo anterior y en el evento de que las materias a tratar tengan carácter estratégico, se requerirá la presencia de al menos un representante del sector privado, uno del sector público y uno de la sociedad civil y que la decisión sea aprobada por al menos dos tercios de los miembros presentes. Se entenderán como temas de carácter estratégico, y sin que la enumeración se entienda taxativa, los siguientes:

- a) Modificación de orientación del Plan de Trabajo, abrir nuevas líneas de trabajo, o cancelación de alguna de las líneas existentes.
- b) Modificación, actualización y reestructuración del equipo de personal contratado.
- c) Decisiones de inversión sobre \$20.000.000 CLP.

El Directorio contará con un Presidente, el cual será elegido por votación abierta entre los miembros del Directorio, tomando en cuenta el conocimiento de la CRR. El cargo durará hasta que se constituya la persona jurídica definitiva, o bien hasta que se renueve el Directorio. Al Presidente le corresponderá preparar y dirigir las sesiones junto al Coordinador Ejecutivo del *Comité de Cuenca* y podrá dirimir en caso de empate.

El Directorio se reunirá al menos una vez cada 2 meses y será convocado mediante correo electrónico por el Coordinador Ejecutivo del *Comité de Cuenca*. En casos especiales, la sesión podrá incluir otros interesados, que sólo tendrán derecho a voz. Los miembros del Directorio podrán concurrir de manera presencial o a distancia a las sesiones, a través de medios electrónicos o de otra naturaleza que permitan la comunicación y garanticen la autenticidad de los acuerdos adoptados. Cuando alguno o todos los integrantes del Directorio concurren de manera no presencial, el Presidente deberá indicar en la convocatoria la hora límite para que los directores comuniquen sus votos respecto a los asuntos sometidos a su consideración.

Los integrantes de este Directorio, no podrán recibir remuneraciones, honorarios, ni emolumentos de ninguna naturaleza por este concepto. Excepcionalmente, para el caso de que un director no pueda participar de manera remota, podrán ser financiados con cargo al *Comité de Cuenca*, gastos de traslado y estadía de alguno de los directores, lo cual deberá ser aprobado expresamente por el Presidente del Directorio.

Las materias tratadas en las reuniones de Directorio podrán tener el carácter de confidencial, y los directores tendrán el deber de guardar debida reserva de las mismas cuando corresponda.

De las sesiones de Directorio se levantará una minuta, que contendrá a lo menos: fecha, hora y lugar de la sesión, los asistentes con expresa mención al tipo de concurrencia, los principales puntos tratados y los acuerdos tomados en la sesión. Esta minuta será enviada a los directores, para revisión, dentro del tercer día siguiente de la sesión. Luego de su aprobación, y dentro del plazo de 15 días de la sesión, será firmada por todos los miembros del Directorio en conjunto con el Coordinador Ejecutivo del *Comité de Cuenca*. El Coordinador Ejecutivo será el responsable de emitir minutas y conservarlas junto a los documentos presentados en la sesión.

4. Facultades y funciones:

Las principales facultades y funciones del Directorio serán:

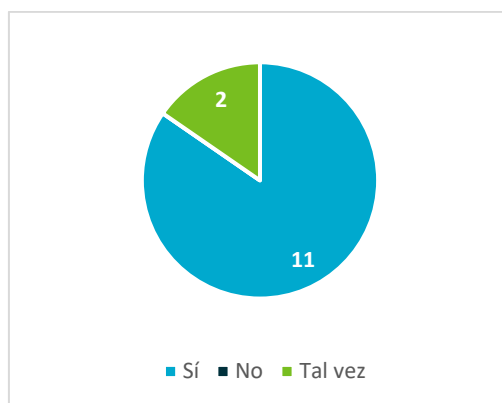
- Designar al Presidente del Directorio, quién a su vez se transforma en el Presidente del *Comité de Cuenca*.
- Elaborar en conjunto con el Coordinador Ejecutivo, un Plan de Trabajo para el período transitorio alineado con las funciones del *Comité de Cuenca*, que incluya indicadores de desempeño, un sistema de control de gestión y un plan de inversiones.
- Proponer y definir políticas, reglas y/o procedimientos para el buen funcionamiento del *Comité de Cuenca*.
- Identificar y establecer un Coordinador Ejecutivo, orientar continuamente su gestión y mandatarlo en materias estratégicas de desarrollo para la viabilidad e impacto del *Comité de Cuenca*.
- Establecer y modificar a propuesta del Coordinador Ejecutivo, las plantas del personal, fijar y determinar sus remuneraciones y beneficios, y aprobar los reglamentos internos de trabajo que someta a su decisión el Coordinador Ejecutivo.
- Establecer la Corporación de derecho privado sin fines de lucro, preferentemente dentro de los primeros 24 meses a partir del comienzo de este reglamento.
- Tomar decisiones sobre los aspectos financieros y de inversión del *Comité de Cuenca*.
- Realizar evaluaciones permanentes de las estrategias definidas y proponer eventuales modificaciones al *Comité de Cuenca*.

Anexo: Individualización de los comparecientes⁵²

4.4.3 Validación de la propuesta de gobernanza

A continuación, se presentan los resultados de la encuesta donde se valida el grado de conformidad con la propuesta de gobernanza y el reglamento transitorio realizada al GA:

1. *¿Estás de acuerdo en términos generales con lo expresado en el documento de reflexiones sobre el alcance del Comité de Cuenca?*

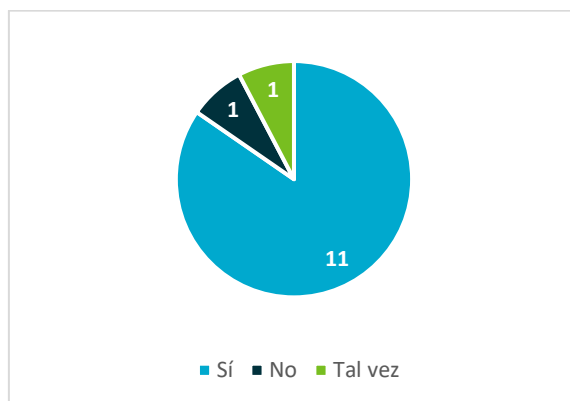


*Tal vez: “Creo que hay que ver como se incorporan los gobiernos locales, no parece suficiente la participación de la Gobernación.”

**Tal vez: “Falta precisar las atribuciones, los alcances y la orgánica del comité de cuenca.”

⁵² Está incompleto hasta que los miembros del GA deciden firmar este reglamento transitorio.

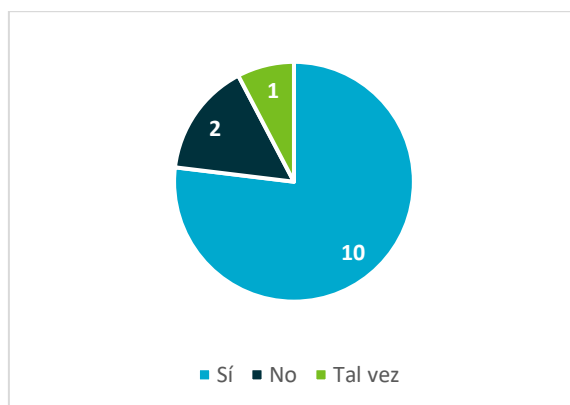
2. *¿Estás de acuerdo con la eventual creación de una nueva Corporación sin fines de lucro para formalizar el Comité de Cuenca?*



*No: “Debiera estar ubicado en el Gobierno Regional”

**Tal vez: “Podría ser una alternativa, pero es fundamental establecer cómo se financia y qué alcance tiene en la toma de decisiones.”

3. *¿Estás de acuerdo con poner a prueba, por un período de hasta dos años, el Comité de Cuenca antes de la creación de una Corporación?*

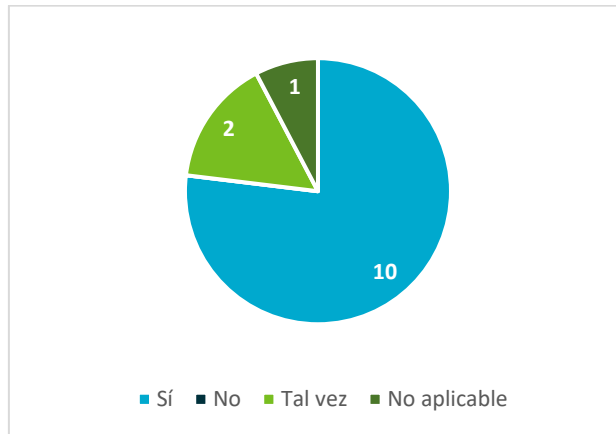


*No: “Propongo formar la Corporación sin fines de lucro en forma inmediata.”

**No: “Debiera crearse la corporación ahora de esa forma tendría acceso a recursos y se aseguraría la existencia de un coordinador o gestor para su funcionamiento.”

***Tal vez: “Previo a su funcionamiento piloto debe establecerse dónde (en qué institución) va a funcionar, cómo se coordina, quién realiza el seguimiento, control del comité y cómo se formaliza.”

4. Si tu respuesta a la pregunta anterior fue positiva, ¿estás de acuerdo en términos generales con el Reglamento Transitorio presentado?



*Tal vez: “El reglamento transitorio presentado no se ajusta a un funcionamiento en periodo de prueba, dado que no establece la orgánica donde se alojará, institución pública o privada, no queda claro quién asumiría el cargo de coordinador ejecutivo en este periodo, ni presupuesto y remuneraciones relacionadas con el periodo planteado.”

**Tal vez: “En términos generales la respuesta es positiva. XXX está interesado inicialmente de participación a nivel de seguimiento e informativo en el Comité. Hay interés en apoyar y financiar el Comité. Una participación más formal requiere de una evaluación posterior más detallada.”

5 Conclusiones

Cómo ha quedado en evidencia, los desafíos con respecto a la gestión de los recursos hídricos de la CRR son diversos y complejos, siendo la gobernanza del agua a nivel local uno de los más importantes. Para avanzar en este camino, durante los últimos años CSIRO impulsó un proceso participativo amplio y continuo que incluyó a diversos actores locales (consumidores, autoridades, industrias, agricultores, etc.) en un diálogo permanente acerca de cómo abordar de manera integrada los desafíos compartidos asociados a la gestión de los recursos hídricos de la CRR.

Esto ha permitido la generación de marcos de conocimiento común, la identificación de necesidades, desafíos y oportunidades compartidas, la construcción de acuerdos y diálogos para zanjar diferencias, y el establecimiento de procedimientos transparentes para la toma de decisiones. Más concretamente, este proceso ha permitido la generación consensuada de una visión para la CRR a largo plazo, la identificación de herramientas informáticas necesarias para avanzar hacia ese destino y el desarrollo colectivo de una de estas herramientas (SimRapel) para apoyar la gobernanza y la toma de decisiones compartida.

SimRapel fue seleccionada y construida de manera participativa con el Grupo Asesor (GA), instancia que convocó la participación de 16 instituciones en representación de los actores clave de la cuenca provenientes del sector público, privado, sociedad civil y académico. El desarrollo y la aplicación de SimRapel apoyan y fortalecen la gobernanza de la CRR. Además, se permitió la integración, acople y actualización del estado del arte en modelos hidrológicos que han sido desarrollados por diversas organizaciones. SimRapel es una herramienta flexible y desarrollada en base a código abierto y software libre, facilitando su acceso y adaptación.

SimRapel es una herramienta que permite a los usuarios entender los procesos hidrológicos de manera comprensiva, integrando los recursos hídricos subterráneos y superficiales de la CRR y explorar posibles trayectorias de la cuenca en base a criterios y objetivos económicos, ambientales, y sociales. En particular, siguiendo las preferencias del GA, SimRapel permitió explorar las trayectorias de la cuenca para 16 escenarios distintos basados en combinaciones de las siguientes condiciones: a) condiciones hidrológicas, b) tendencias del cambio climático, c) construcción de nuevos embalses, d) implementación de Recarga de Acuíferos Gestionada, y e) mejoras en la eficiencia de riego intrapredial.

Este ejercicio, basado en la modelación integrada de la CRR, indicó que no existe una solución única para responder a los diferentes y complejos desafíos hídricos presentes y futuros de la cuenca. En cambio, una combinación de estrategias parece ser la mejor alternativa para enfrentar estos desafíos, en donde los distintos acuerdos y trade-offs con beneficios y perjuicios están cuantificados y aceptados por parte de todos los actores clave.

Por su parte, la elaboración e implementación de SimRapel hizo evidente la necesidad de contar con una gobernanza formal de los recursos hídricos en la CRR. En efecto, si bien todos los actores estaban de acuerdo en la necesidad de contar con herramientas como ésta, ninguno estaba dispuesto a hacerse cargo de la misma en el futuro ni a financiar sus mejoras y actualizaciones. Esto reflejó la ausencia de una instancia formal que acogiese las necesidades y demandas de los distintos actores de la cuenca, priorizase aquellos de carácter compartido y luego articulase las respuestas colectivas correspondientes. De este modo, CSIRO también impulsó el diseño colaborativo de una propuesta de gobernanza formal del agua para la CRR, ejercicio que hizo ver a los actores la ineludible necesidad de avanzar en este ámbito. La propuesta finalmente desarrollada fue generalmente validada y aprobada por parte del Grupo Asesor (GA) y sirve como un punto de partida para su implementación.

Alimentado por la mejor ciencia disponible y por una importante dosis de conocimiento local, este proceso también permitió un intercambio de opiniones, ideas y pareceres abierto y transparente entre los diversos actores de la CRR. Esto ha aumentado la confianza entre los actores, permitiendo la construcción de acuerdos validados y legitimados entre las distintas partes para avanzar hacia una GIRH en la CRR.

El trabajo realizado por CSIRO durante estos años en la CRR permite elaborar algunas reflexiones que se espera sirvan para el avance de la gobernanza del agua en otras cuencas de Chile y la región. En primer lugar, es importante recordar que la dimensionalidad del agua es múltiple y sus características dependen de factores climáticos, geográficos, ambientales, económicos y sociales. Así, lo que ocurre con el agua en la Región de Tarapacá es diferente de lo que ocurre en la Región de O'Higgins y lo que ocurre en estas regiones también es diferente de lo que ocurre en la Región de Aysén. Asimismo, al interior de cada región también existen múltiples factores y dimensiones que condicionan lo que sucede con el agua y lo que de ella se demanda; así, lo que ocurre en una cuenca es diferente de lo que ocurre en otra. De este modo, cada cuenca requiere de una gobernanza del agua particular.

También es importante resaltar que avanzar en la gobernanza del agua en una cuenca requiere de un proceso continuo que toma mucho tiempo, que está lleno de dificultades y que demanda el compromiso de la mayoría de los actores locales para que funcione de manera exitosa. Es más, el compromiso de los actores debe acompañar el proceso desde el comienzo y debe ser continuo; los actores deben acompañar de manera permanente las etapas de conceptualización, diseño e implementación de cada una de las iniciativas acordadas en el ejercicio de un esquema de gobernanza. Esto hará que los desarrollos que se den dentro del mismo proceso participativo sean útiles a las necesidades de los actores y estén legitimados entre ellos y frente al resto de la sociedad.

Es muy importante que estos procesos estén alimentados por la mejor ciencia aplicada disponible y que ésta sea confiable para todos, de modo que las discusiones estén sustentadas en entendimientos compartidos y las decisiones tengan los efectos deseados. El aporte formal y científico debe ser complementado con el mejor conocimiento local informal basado en la experiencia, el que muchas veces no se encuentra ni en los documentos científicos ni en los oficiales, ya que ha sido transmitido y conservado de manera oral y ejercido de manera práctica en el territorio.

Finalmente, creemos que una gobernanza exitosa alienta a las distintas partes interesadas a trabajar colaborativamente para hacer frente a un desafío común y complejo, como es la gestión sustentable del agua, que ninguno puede resolver de manera individual.

Referencias

- Ansell, C. y Gash, A. (2008). Collaborative Governance in Theory and Practice. *J. Public Adm. Res. Theory* 18, 543–571.
- Araral, E. y Wang, Y. (2013). Water governance 2.0: A review and second generation research agenda. *27(11) Water Resources Management* 3945–3957.
- Arnold, J.G.; Srinivasan, R.; Muttiah, R.S.; y Williams, J.R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development, *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73–89, doi:10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x.
- Arnold, J.G. y Fohrer, N. (2005), SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modelling. *Hydrological Processes*. 19(3), 563–572, doi:10.1002/hyp.5611. 11.
- Arnold, J.; Kiniry, J.; Srinivasan, R.; Williams, J.; Haney, E.; y Neitsch, S. (2013) Soil and Water Assessment Tool - Input/Output Documentation, version 2012.
- Aslin, H. y Brown, V. (2004). Towards whole of community engagement: a practical toolkit. (1 ed.) Murray-Darling Basin Commission.
- Banco Central de Chile (2018). PIB Regional - 2018 [Online]. Santiago, Chile: Banco Central de Chile. Disponible: <https://www.bcentral.cl/areas/estadisticas/pib-regional> [acceso 3 de Julio, 2018].
- Banco Mundial (2011). Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Santiago: Banco Mundial.
- Banco Mundial (2013). Estudio para el mejoramiento del marco institucional para la gestión del agua. Banco Mundial.
- Basco-Carrera, L.; Meijers, E.; Sarisoy, H.D.; Sanli, N.O.; Coskun, S.; Oliemans, W.; van Beek, E.; Karaaslan, Y.; y Jonoski, A. (2018). An adapted companion modelling approach for enhancing multi-stakeholder cooperation in complex river basins. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.* 25, 747–764.
- Bauer, C. (1998). *Against the Current: Privatization, Water Markets, and the State in Chile*. s.l.:Springer US.
- Bauer, C. (2004). *Canto de Sirenas: El Derecho de Aguas Chileno como Modelo para Reformas*.
- Blanc, S.; Lingua, F.; Bioglio, L.; Pensa, R.; Brun, F.; y Mosso, A. (2018). Implementing Participatory Processes in Forestry Training Using Social Network Analysis Techniques. *Forests*. 9, 463.
- Bodin, O.; Crona, B.; y Ernstson, H. (2006). Social Networks in Natural Resource Management: What Is There to Learn from a Structural Perspective? *Ecol. Soc.* 11, 1–8.
- Bodin, O. y Crona, B. (2009) The role of social networks in natural resource governance: What relational patterns make a difference? *Glob. Environ. Chang.* 19, 366–374.
- Booz&Co. (2011). *Cost-Benefit Analysis For Gmes*. Londres.
- Borgatti, S.P. y Everett, M.G. (2000). Models of core/periphery structures. *Soc. Netw.* 21, 375–395.
- Butterworth, J.; Warner, J.; Moriarty, P.; Smits, S.; y Batchelor, C. (2010). Finding practical approaches to integrated water resources management. *Water Altern.* 3, 68–81.
- Callejas, R.; Vera, J.; Rioseco, M.; Prohens, F.; Osorio, H.; Pino, P.; Navarrete, J.; y Gálvez, R. (2014). Generación e integración de tecnologías destinada al ahorro de agua de riego en dos regiones productoras de fruta en Chile. *Aqua-LAC* 6 (2): 71-83.
- Cardwell, H.; Langsdale, S.; y Stephenson, K. (2009). *The Shared Vision Planning Primer: How to Incorporate Computer Aided Dispute Resolution in Water Resources Planning*; Institute Water Resources, US Army Corps of Engineers: Washington, DC, USA.

- Castilla-Rho, J.C.; Mariethoz, G.; Rojas, R.; Andersen, M. S.; y Kelly, B. F. (2015). An agent-based platform for simulating complex human–aquifer interactions in managed groundwater systems. *Environmental Modelling & Software*, 73, 305-323.
- Chaffin, B.; Garmestani, A.; Gosnell, H.; y Craig, R. (2016). Institutional networks and adaptive water governance in the Klamath River Basin, USA. *Environ. Sci. Policy*. 57, 112–121.
- CEPAL (2012). La Economía del Cambio Climático en Chile. Naciones Unidas, Santiago de Chile. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/35372/1/S2012058_es.pdf [acceso 7 de julio, 2020].
- CNE (2020). Capacidad Instalada de Generación. Comisión Nacional de Energía. <https://www.cne.cl/?s=capacidad+instalada> [acceso 20 julio, 2020].
- CNR (2011). Línea Base de la Situación Legal de las Organizaciones de Usuarios de Aguas de las Regiones de O’Higgins y del Maule. Informe Final. Realizado por el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) para la Comisión Nacional de Riego (CNR), Ministerio de Agricultura. Disponible: <https://research.csiro.au/gestionrapel/wp-content/uploads/sites/79/2016/11/Informe-1.pdf> [acceso: 22 de julio, 2020].
- COCHILCO (2016). Producción cobre de mina por empresa, Comisión Chilena del Cobre, Ministerio de Minería.
- CODELCO (2015a). Codelco: El Teniente, Nosotros. Disponible en: https://www.codelco.com/nosotros/prontus_codelco/2011-08-02/195321.html [acceso 5 diciembre 2017].
- CODELCO (2015b). Reporte de Sustentabilidad.
- CODEPRA (2014). Plan de Acción – Zona de Interés Turístico Lago Rapel, Un Polo de Desarrollo Turístico.
- CONAF (2015). Parques Nacionales. <http://www.conaf.cl/parques-nacionales/> [acceso 5 diciembre 2017].
- Connick, S. y Innes, J.E. (2003). Outcomes of Collaborative Water Policy Making: Applying Complexity Thinking to Evaluation. *J. Environ. Plan. Manag.* 2003, 46, 177–197.
- Cook, C. y Bakker, K. (2012). Water security: Debating an emerging paradigm. *Glob. Environ. Chang.* 22, 94–102.
- Cosens, B.; Gunderson, L.; y Chaffin, B. (2014). The adaptive water governance project: assessing law, resilience and governance in regional socio-ecological water systems facing a changing climate. *Idaho Law Review*. 1–27.
- Crona, B. y Bodin, O. (2006). What You Know is Who You Know? Communication Patterns Among Resource Users as a Prerequisite for Co-management. *Ecol. Soc.* 11, 7.
- Curtis, A.; Mitchell, M; y Mendham, E. (2016). Social Science contributions to groundwater governance. *Integrated Groundwater Management*, pp. 477-493.
- Dames y Moore (1993). Análisis de la Información Histórica, Hidrológica y de la calidad del Agua para la Evaluación de Descargas de Aguas Residuales e Industriales en la cuenca del río Rapel.
- De Burca, G.; Keohane, R; y Sabel, C. (2014). Global experimentalist governance. *44 British Journal of Political Science* 477–486;
- DGA (1996). Análisis de la oferta y demanda de recursos hídricos en cuencas críticas de Loa, Rapel y Mataquito. Santiago, Chile: Dirección General de Aguas (DGA), Ministerio de Obras Públicas.
- DGA (1999). Política Nacional de Recursos Hídricos. Dirección General de Aguas (DGA), Ministerio de Obras Públicas Disponible en: <http://aprchile.cl/pdfs/pol1dga.pdf> [acceso 20 de julio, 2020].
- DGA (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, cuenca del río Rapel, CADE-IPE, Dirección General de Aguas (DGA), Ministerio de Obras Públicas.
- DGA (2011). Diagnóstico de la Red de Aguas Subterráneas, Región Del Libertador Bernardo O’Higgins. Dirección General de Aguas (DGA), Ministerio de Obras Públicas. www.documentos.dga.cl [acceso 30 de abril, 2015].

- DGA (2015). Atlas de Agua Chile 2016. Dirección General de Aguas (DGA), Ministerio de Obras Públicas. I.S.B.N. 978-956-7970-30-8.
- DGA (2016). Inventario Público de Cuencas Hidrográficas 2016, Dirección General de Aguas (DGA), Ministerio de Obras Públicas.
- DGA (2019). Observatorio Georreferenciado. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. Disponible en: <http://snia.dga.cl/observatorio/>
- DGA (2020). Información pluviométrica, fluviométrica, estado de embalses y aguas subterráneas. Boletín N°500, Diciembre 2019. Dirección General de Aguas (DGA), Ministerio de Obras Públicas. Disponible en: <https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/informacionhidrologica/Informacin%20Mensual/Boletin%2012%20Diciembre.pdf> [acceso 7 de junio, 2020].
- Donoso, G.; Blanco, E.; Foster, W.; Franco, G.; y Lira, F.J. (2012). Seguridad hídrica y alimentaria en América Latina y España: el caso de Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Donoso, G. (2014). Integrated Water Management in Chile. En: Integrated water resources management in the 21st century: revisiting the paradigm. Leiden: CRC Press, pp. 217-234.
- dos Muchangos, L.S.; Tokai, A.; y Hanashima, A. (2017). Stakeholder analysis and social network analysis to evaluate the stakeholders of a MSWM system—A pilot study of Maputo City. *Environ. Dev.* 24, 124–135.
- Emerson, K.; Nabatchi, T.; y Balogh, S. (2012). An Integrative Framework for Collaborative Governance. *J. Public Adm. Res. Theory.* 22, 1–29.
- FCCyT (2012). Diagnóstico del Agua en las Américas. Red Interamericana de Academias de Ciencias. México, Distrito Federal: Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC.
- FJVSR (2020). Quiénes somos. Federación de Juntas de Vigilancia de los Ríos y Esteros de la Sexta Región. Página Web: <https://www.federacionjuntas.cl/quienes-somos> [acceso: 22 de julio 2020].
- Fritz, S.; Scholes, R.; Obersteiner, M.; y Reyers, B. (2008). A Conceptual Framework for Assessing the Benefits of a Global Earth Observation System of Systems. *IEEE Systems Journal.*
- Fundación Chile (2015). Huella Hídrica en Chile. Sectores Prioritarios de la Cuenca del Río Rapel.
- Fundación Chile (2018). Radiografía del agua. Brecha y riesgo hídrico en Chile.
- Fuster, R.; González F.; Morales L.; Cerda C.; Hernández J.; Sotomayor D.; Lillo G.; González M.; Escobar C.; Maldonado M.; y Valdebenito J. (2009). Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en Chile. Informe final. Universidad de Chile.
- Garcés, M. (2011). Análisis técnico de la huella hídrica como indicador de sustentabilidad del uso del agua en la producción del concentrado de cobre en División El Teniente de Codelco. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104068>
- Garreaud, R.D.; Boisier, J.P.; Rondanelli, R.; Montecinos, A.; Sepúlveda, H.H.; y Veloso-Aguila, D. (2019). The Central Chile Mega Drought (2010–2018): A climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology*, 6, 74. Disponible en <https://doi.org/10.1002/joc.6219> [acceso 4 julio, 2020].
- Global Data Lab (2018). Subnational Human Development Index (4.0). Disponible en: https://globaldatalab.org/shdi/shdi/CHL/?levels=1%2B4&interpolation=0&extrapolation=0&nearest_real=0 [acceso 17 julio, 2020].
- Gobierno Regional (2011). Estrategia Regional de Desarrollo 2011-2020. Gobierno Regional de la Región del Libertador General Bernardo O’Higgins. Disponible en: http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/articles-82943_archivo_fuente_0.pdf [acceso 8 de mayo, 2020].
- GWP (2000). Integrated water resources management: TAC Background Papers N°4. Denmark, Global Water Partnership.

- Hagan, P. S. (2010). Mid-Atlantic Regional Coastal Ocean Observing System (Marcoos): Economic Estimate of Benefit Pathways.
- Harbaugh, A.W. (2005). MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model—the Ground-Water Flow Process, U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16.
- Harrington, C. (2017). The political ontology of collaborative water governance. *Water Int.* 42, 254–270.
- Hoffmeister (2010). Plan Integrado para la Gestión Sostenible Aguas Subterráneas: El caso de la cuenca del río Rapel, VI Región de Chile, tesis de maestría, Universidad Autónoma de San Luís Potosí y Cologne University of Applied Science.
- Holley, C. y Sinclair, D. (2013). Deliberative participation, environmental law and collaborative governance: Insights from surface and groundwater studies. *Environ. Plan. Law J.* 30, 32–55.
- Holley, C. (2015). Crafting Collaborative Governance: Water Resources, California’s Delta Plan, and Audited Self-Management in New Zealand. *Environ. Law Rep. News Anal.* 45, 1–14.
- Holley, C.; Gunningham, N.; y Shearing, C. (2012). *The New Environmental Governance* (Earthscan).
- Holley, C. y Sinclair, D. (2018). Replenishing Australia’s Water Future. In Cameron Holley and Darren Sinclair (eds) *Reforming Water Law and Governance* (Springer) 2-3.
- INE (2012). Compendio Estadístico, Síntesis Geográfica Regional. Instituto Nacional de Estadísticas.
- INE (2014). Compendio Estadístico. Instituto Nacional de Estadísticas.
- INE (2017). Censo Chileno 2017. Instituto Nacional de Estadísticas.
- Jiménez, J. P. (2012). Plan Maestro de Gestión de Recursos Hídricos Región de O’Higgins. Dirección General de Aguas Región de O’Higgins.
- JØNCH-CLAUSEN, T. y FUGL, J. (2001). Firming up the Conceptual Basis of Integrated Water Resources Management. *International Journal of Water Resources Development*, 17, Pp.501-510.
- Kite-Powell, H.; Colgan, C.; Wellman, K.; Pelsoci, T.; y Wieand, K.; Pendleton, L.; Kaiser, M.; Pulsipher, A.; y Luger, M. (2005). Estimating the Economic Benefits of Regional Ocean Observing Systems. Woods Hole Oceanog. Inst. Tech. Rept.
- Kite-Powell, H.; Colgan, C.; y Weiher, R. (2008) Estimating The Economic Benefits Of Regional Ocean Observing Systems. *Coastal Management*. 36(2):125-145. DOI: 10.1080/08920750701868002
- Kurki V. (2016). Negotiating Groundwater Governance: Lessons from Contentious Aquifer Recharge Projects. Doctoral dissertation no. 138, Tampere University of Technology.
https://tutcris.tut.fi/portal/files/6149146/Kurki_1387.pdf .
- Larrain, S. (2006). El agua en Chile: entre los derechos humanos y las reglas del mercado. En *Polis* (en línea), 14. Disponible en: <http://journals.openedition.org/polis/5091> [acceso 22 julio, 2020].
- Lienert, J.; Schnetzer, F.; y Ingold, K. (2013). Stakeholder analysis combined with social network analysis provides fine-grained insights into water infrastructure planning processes. *J. Environ. Manag.* 125, 134–148.
- López-Gunn, E.; Akhmouch, A.; Aldaya, M.; Linaje, A.; Ballesteros, M.; Bea, M.; Hirata, R.; Kuroiwa, J.; Mayor, B.; Perez, L.; Chang, P.; Scott, C.; Villarroya, F.; y Zorrilla-Miras, P. (2014). Rethinking integrated water resources management: towards water and food security through adaptive management. En: *Water for Food and Wellbeing in Latin America and the Caribbean. Social and Environmental Implications for a Globalized Economy*. New York: Routledge, pp. 385-417.
- Macauley, M. K. (S.F.). The Value of Information: A Background Paper on Measuring the Contribution of Space-Derived Earth Science Data to National Resource Management.
- Marín, A. y Berkes, F. (2010). Network approach for understanding small-scale fisheries governance: The case of the Chilean coastal co-management system. *Mar. Policy*. 34, 851–858.

- Mayers J. (2005). Stakeholder power analysis. International Institute for Environment and Development, London, United Kingdom.
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública (2015). Política Nacional para los Recursos Hídricos. Delegación Presidencial para los Recursos Hídricos del Ministerio del Interior y Seguridad Pública. Disponible en: https://www.interior.gob.cl/media/2015/04/recursos_hidricos.pdf [acceso 20 de junio, 2020].
- MMA (2015). Atlas de Cambio Climático de la Zona Semiárida de Chile. Disponible en: <https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/09/Atlas-CC-ZonaAridas-Semiarias-Chile.pdf> [acceso 20 julio, 2020].
- MOP (2012). Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021. Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Ministerio de Obras Públicas.
- MOP (2013). Chile cuida su agua: Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025. Ministerio de Obras Públicas. Disponible en: https://www.mop.cl/Documents/ENRH_2013_OK.pdf [acceso 9 de junio, 2020].
- MOP (2020). Mesa Nacional del Agua. Primer Informe. Ministerio de Obras Públicas. Disponible en: https://www.mop.cl/Prensa/Documents/Mesa_Nacional_del_Agua_2020_Primer_Informe_Enero.pdf [acceso 21 de julio, 2020].
- Mora-Melià, D.; López-Aburto, C.S.; Ballesteros-Pérez, P.; Muñoz-Velasco, P., (2018). Viability of green roofs as a flood mitigation element in the central region of Chile. *Sustainability* 10, 1130.
- Moriarty, P.; Batchelor, C.; Laban, P.; Fahmy, H. (2010). Developing a practical approach to 'light IWRM' in the middle east. *Water Altern.* 3, 122–136.
- Mukhtarov, F. y Gerlak, A.K., (2014). Epistemic forms of integrated water resources management: towards knowledge versatility. *Policy Sciences*, 42(2), pp. 101-120.
- Neitsch, S. L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; y Williams, J.R. (2011). Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, Version 2009, Grassland, Soil and Water Research Laboratory; Agricultural Research Service 808 East Blackland Road; Temple, Texas 76502; Blackland Research & Extension Center; Texas Agricultural Experiment Station 720 East Blackland Road Temple, Texas 76502, USA.
- Nordhaus, W.D. (1986). The Value of Information, In Richard Krasnow (Ed.), *Policy Aspects of Climate Forecasting*. Washington: Resources for the Future.
- OCDE (2011). Water Governance in OECD Countries: A Multi-Level Approach, OECD Studies on Water, ed.; OECD: Paris, France.
- OCDE (2015). Principios de Gobernanza del Agua de la OCDE. <https://www.oecd.org/cfe/regional-policy/OECD-Principles-Water-spanish.pdf>
- OCDE (2017). Brechas y estándares de gobernanza de la infraestructura pública en Chile: Análisis de Gobernanza de Infraestructura. OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264286948-es>.
- ODEPA (2015). Boletín frutícola 2015. Disponible en: www.odepa.cl [acceso 30 de abril, 2015].
- ODEPA (2019). Información Regional 2019. Región del Libertador Bernardo O'Higgins. Disponible en: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/07/OHiggins.pdf> [acceso 4 de julio, 2019].
- ODEPA (2020). Región del Libertador Bernardo O'Higgins. Actualización mayo de 2020. Disponible en <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2020/06/OHiggins-.pdf> [acceso 7 de julio, 2020].
- Ogada, J.O.; Krhoda, G.O.; Veen, A.V.D.; Marani, M.; y van Oel, P.R. (2017). Managing resources through stakeholder networks: Collaborative water governance for Lake Naivasha basin, Kenya. *Water Int.* 42, 271–290.
- Oliver, P. (S.F.). *Understanding Stakeholder Analysis*. eWater Cooperative Research Centre, Queensland Department of Natural Resources and Water, Australia.

- Oñat, A. (2016). Barras mediales como unidades filtradoras en ríos trenzados con lecho de grava: estimación del caudal de infiltración y su comportamiento diario. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería con Mención en Ingeniería Civil. Universidad de Concepción, 81pp.
- Ostrom, E. (1990). *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge University Press.
- Pagliero, L. y Zambrano-Bigiarini, M. (2016) Modelación hidrológica cuenca Rio Rapel Parte II: MAGIC Rapel. Proyecto FIC-2013, EULA. 100 pp.
- Pahl-Wostl, C. (2015). *Water governance in the face of global change*. Springer. 267.
- Pahl-Wostl, C. (2017). An Evolutionary Perspective on Water Governance: From Understanding to Transformation. *Water Resour. Manag.* 31, 2917–2932.
- PIRDT (2009). *Manual de soluciones de Saneamiento Sanitario para Zonas Rurales*. Santiago, Chile: Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo.
- Pittock, J.; Hussey, K; y Dovers, S. (2015). (eds) *Climate, energy and water*. Cambridge University Press.
- Prell, C.; Hubacek, K.; y Reed, M. (2009). Stakeholder Analysis and Social Network Analysis in Natural Resource Management. *Soc. Nat. Resour.* 22, 501–518.
- Prell, C.; Reed, M.; Racin, L.; y Hubacek, K. (2010). Competing structure, competing views: The role of formal and informal structures in shaping stakeholder perceptions. *Ecol. Soc.* 15, 34.
- Prieto, M. (2016). Bringing water markets down to Chile’s Atacama Desert. *Water Int.* 41, 191–212.
- Reed, M.S.; Graves, A.; Dandy, N.; Posthumus, H.; Hubacek, K.; Morris, J.; Prell, C.; Quinn, C.H.; y Stringer, L.C. (2009). Who’s in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *J. Environ. Manag.* 90, 1933–1949.
- Reed, M.S; Evely, A.C; Cundill, G.; Fazey, I.; Glass, J.; Laing, A.; Newig, J.; Parrish, B.; Prell, C.; Raymond, C.M.; y Stringer L.C. (2010). What is social learning? *Ecol. Soc.* 15, 1–10. DOI: 10.5751/ES-03564-1504r01
- Rinaudo, J. y Donoso, G. (2018). State, market or community failure? Untangling the determinants of groundwater depletion in Copiapó (Chile), s.l.: *International Journal of Water Resources Development*. DOI: 10.1080/07900627.2017.1417116.
- Rojas, M.; Aldunce, P.; Farías, L.; González, H.; Marquet, P.; Muñoz, J.; Palma-Behnke, R.; Stehr, A.; y Vicuña, S. (2019). *Evidencia Científica y Cambio Climático en Chile: Resumen para Tomadores de Decisiones; Technical Report; Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación*: Santiago, Chile.
- Rojas, R.; Bennison, G.; Gálvez, V.; Claro, E.; y Castelblanco, G. (2020). Advancing Collaborative Water Governance: Unravelling Stakeholders’ Relationships and Influences in Contentious River Basins. *Water*, 12(12), 3316.
- Ruzol, C.; Banzon-Cabanilla, D.; Ancog, R.; y Peralta, E. (2017). Understanding water pollution management: Evidence and insights from incorporating cultural theory in social network analysis. *Glob. Environ. Chang.* 45, 183–193.
- Sabatier, P.; Focht, W.; Lubell, M.; Trachtenberg, Z.; Vedlitz, A.; y Matlock, M. (2005). *Swimming Upstream: Collaborative Approaches to Watershed Management*; MIT PR: Cambridge, MA, USA.
- Sandström, A. y Rova, C. (2010). Adaptive Co-management Networks: A Comparative Analysis of Two Fishery Conservation Areas in Sweden. *Ecol. Soc.* 15, 1–23.
- Saravanan, V.; McDonald, T; y Mollinga, P. (2009). Critical review of Integrated Water Resources Management: Moving beyond polarised discourse. *Natural Resources Forum*, 33(1), pp. 76-86.
- Sbi. (S.F.). *Climate Information As An Object Of Economic Research: State And Perspectives*.
- SEREMI de Agricultura (2020). *Plan Regional de Recursos Hídricos (2020-2029)*. Secretaría Regional Ministerial de Agricultura, Región de O’Higgins.

- Sernageomin (2016). Resultados Catastro de Depósito de Relaves 2016, Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, Ministerio de Minería, Gobierno de Chile.
- SIIT (2015). Clima y vegetación Región Libertador B. O'Higgins, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN).
- Smith, J.L. (2008). A critical appreciation of the “bottom-up” approach to sustainable water management: Embracing complexity rather than desirability. *Local Environ.* 13, 353–366.
- Stein, C.; Ernstson, H.; y Barron, J. (2011). A social network approach to analyzing water governance: The case of the Mkindo catchment, Tanzania. *Phys. Chem. Earth Parts A/B/C.* 36, 1085–1092.
- UNEP (2012). The UN-Water Status Report on the Application of Integrated Approaches to Water Resources Management. United Nations Environment Programme.
- UNEP (2018). Progress on Integrated Water Resources Management. Global Baseline for SDG 6 Indicator 6.5.1: Degree of IWRM Implementation; UN Environment: Nairobi, Kenya.
- Vergara, A. (2018). Regularización de Derechos Consuetudinarios de Aguas. Crítica a la jurisprudencia vacilante de la Corte Suprema. Centro de Estudios Públicos.
- Vignola, R.; McDaniels, T.L.; y Scholz, R.W. (2013). Governance structures for ecosystem-based adaptation: Using policy-network analysis to identify key organizations for bridging information across scales and policy areas. *Environ. Sci. Policy.* 31, 71–84.
- Wasserman, S. y Faust, K. (1994). *Social Network Analysis: Methods and Applications*; Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- Winpenny, J. (S.F.). *Investing In Information, Knowledge And Monitoring.*
- World Economic Forum (2019). *Global Risks 2019: Insight Report*, 14th ed.; World Economic Forum: Geneva, Switzerland.
- World Resources Institute (WRI) (2015). Ranking the World's Most Water-Stressed Countries in 2040. Disponible en: <https://www.wri.org/blog/2015/08/ranking-world-s-most-water-stressed-countries-2040> [acceso 7 de julio, 2019].
- Young, O.; King, L.; y Schroeder, H. (2008). *Institutions and environmental change: Principal findings, applications, and research frontiers.* MIT Press.
- Zambrano, M.; Pagliero, L.; Rojas, R.; y Gangas, A.M. (2005) Modelación analítica, genérica e integrada de cuencas. Dirección General de Aguas, MOP, Chile.
- Zambrano-Bigiarini, M. y Pagliero, L. (2016). Modelación hidrológica cuenca Rio Rapel Parte I: Modelación hidrológica con SWAT. Proyecto FIC-2013, EULA. 177 pp.
- Zhang, F.; Whang, X.H.; y Barber, E. (2010). Evaluation of the Potential Economic Benefits of NSW-IMOS Using Improved Ocean Forecasts.
- Zwarteveen, M.; Kemerink-Seyoum, J.S.; Kooy, M.; Evers, J.; Guerrero, T.A.; Batubara, B.; Biza, A.; Boakye-Ansah, A.; Faber, S.; Flamini, A.C.; et al. (2017). Engaging with the politics of water governance. *Wiley Interdiscip. Rev. Water.* 4, e1245

Anexo A

A.1 Sistema de monitoreo de la CRR

En las siguientes figuras y tablas se presentan la distribución de las diferentes estaciones de monitoreo y sus principales características en la CRR, mencionadas anteriormente en la Sección 3.4.1.

Datos meteorológicos:

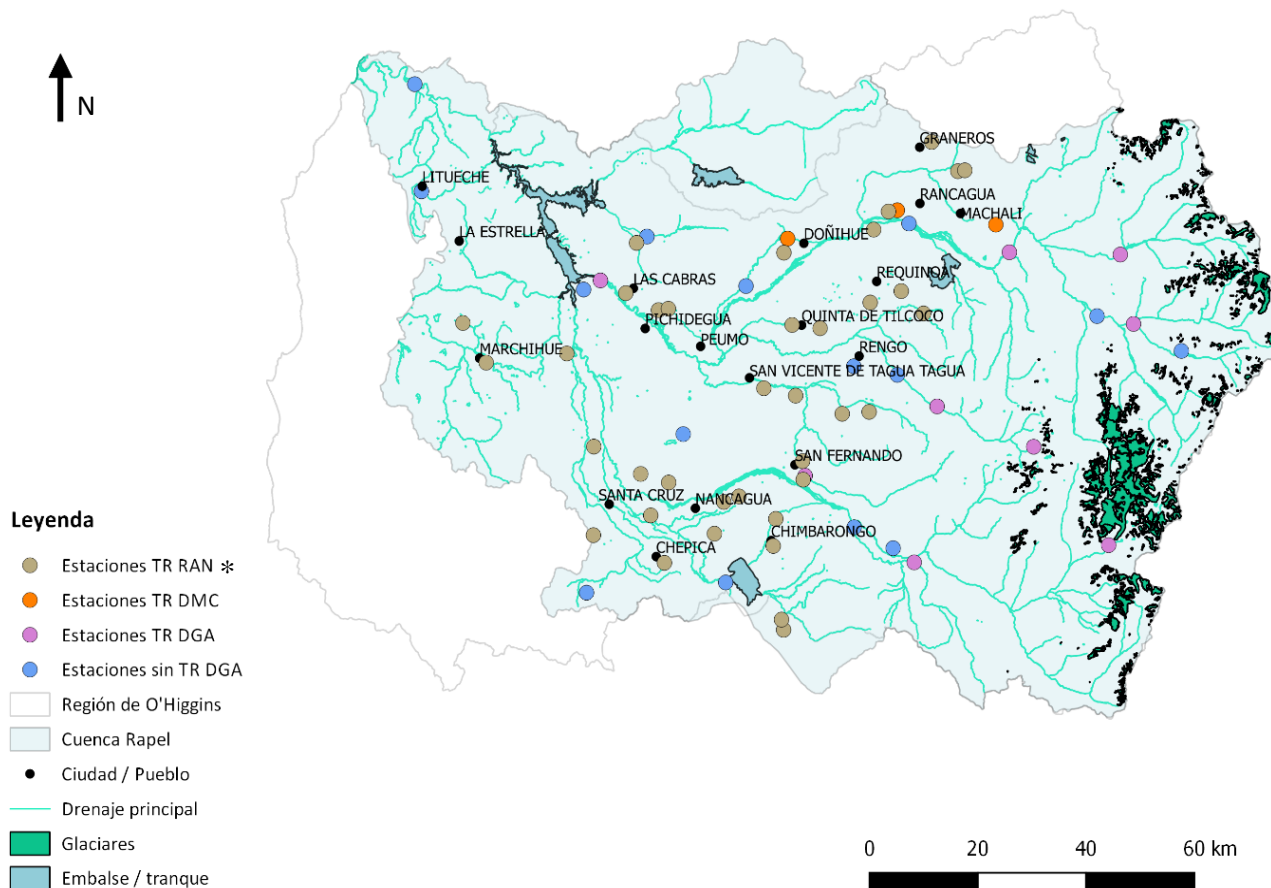


Figura 61. Distribución de estaciones meteorológicas en la CRR (elaborado por CSIRO, 2016).

* Las coordenadas de las estaciones Red Meteovid no están disponibles

Tabla 22. Comparación de las características de las redes de monitoreo de data meteorológica (elaborado por CSIRO, 2016).

CARACTERÍSTICAS	DMC	RAN	DGA (SNIA Y SATEL)
Organizaciones responsables	Dirección Meteorológica de Chile (DMC)	Ministerio de Agricultura (MINAGRI), Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA); Fundación para el Desarrollo Frutícola (FDF), Dirección Meteorológica de Chile (DMC); Consorcios del Vino, AGRYS LTDA	Dirección General de Aguas (DGA)
Número de estaciones vigentes	3	36	24 (9 tiempo real)

CARACTERÍSTICAS	DMC	RAN	DGA (SNIA Y SATEL)
(distribución espacial)			
Número de parámetros	7	6	8
Tipos de parámetros	Temperatura, razón de mezcla de vapor, humedad, presión, precipitación, dirección e intensidad del viento	Temperatura, humedad, presión, precipitación, rad. solar y velocidad del viento	Temperatura, humedad, presión, precipitación, rad. solar, nieve, dirección y velocidad del viento
Frecuencia de disponibilidad	Horario (tiempo real)	Horario (tiempo real)	Diario*, horario (tiempo real)
Manual (M) / Automatizados (A)	A	A	M, A
Acceso Público	si	si	si
Protocolos / Confiabilidad		<p>Cada sub-red que integra la RAN tiene protocolo de aseguramiento de la calidad de la información.</p> <p>MINAGRI cuenta con un sistema de control de datos y reporta sobre el funcionamiento en línea de las estaciones.</p>	<p>La red está conformada por estaciones con observadores, los cuales, registran en forma diaria cada dato. Se tienen además equipos electrónicos que almacenan los datos y, otros, que además de almacenar los datos, los transmiten hasta Nivel Central, donde pueden ser vistos hora a hora.</p> <p>La primera verificación que se realiza antes de despachar los datos a nivel central, independiente de su origen, es efectuada por personal regional que compara los datos entregados por el observador, para comprobar que estos no tengan errores gruesos o visibles. Posteriormente y antes de cargar al Banco Nacional de Aguas (BNA) los datos provenientes de equipos electrónicos, el encargado regional, comprueba que los registros no presenten errores de continuidad.</p> <p>La evaluación de calidad se genera confrontando puntos de medición pluviométricos ubicados en zonas compatibles, esto quiere decir, dentro una subcuenca o valle específico, que permite analizar el efecto de una masa de aire sobre dicha zona. Teniendo, dicha zona a su vez, características particulares; como orientación y geografía, las cuales, van a determinar el efecto de esta tormenta sobre el instrumental instalado.</p> <p>Para la validación, la experiencia del analista permite descubrir los errores de lecturas directas provenientes de un observador o causados por el mal funcionamiento de un instrumento mecánico o electrónico.</p>

Los errores descubiertos pueden ser muchos y variados, y tal detección no es producto de cálculos académicos o procesos automáticos, sino que es producto de la experiencia y conocimientos que el analista tenga.

*Data disponible dentro 80 días hábiles

Datos de aguas superficiales:

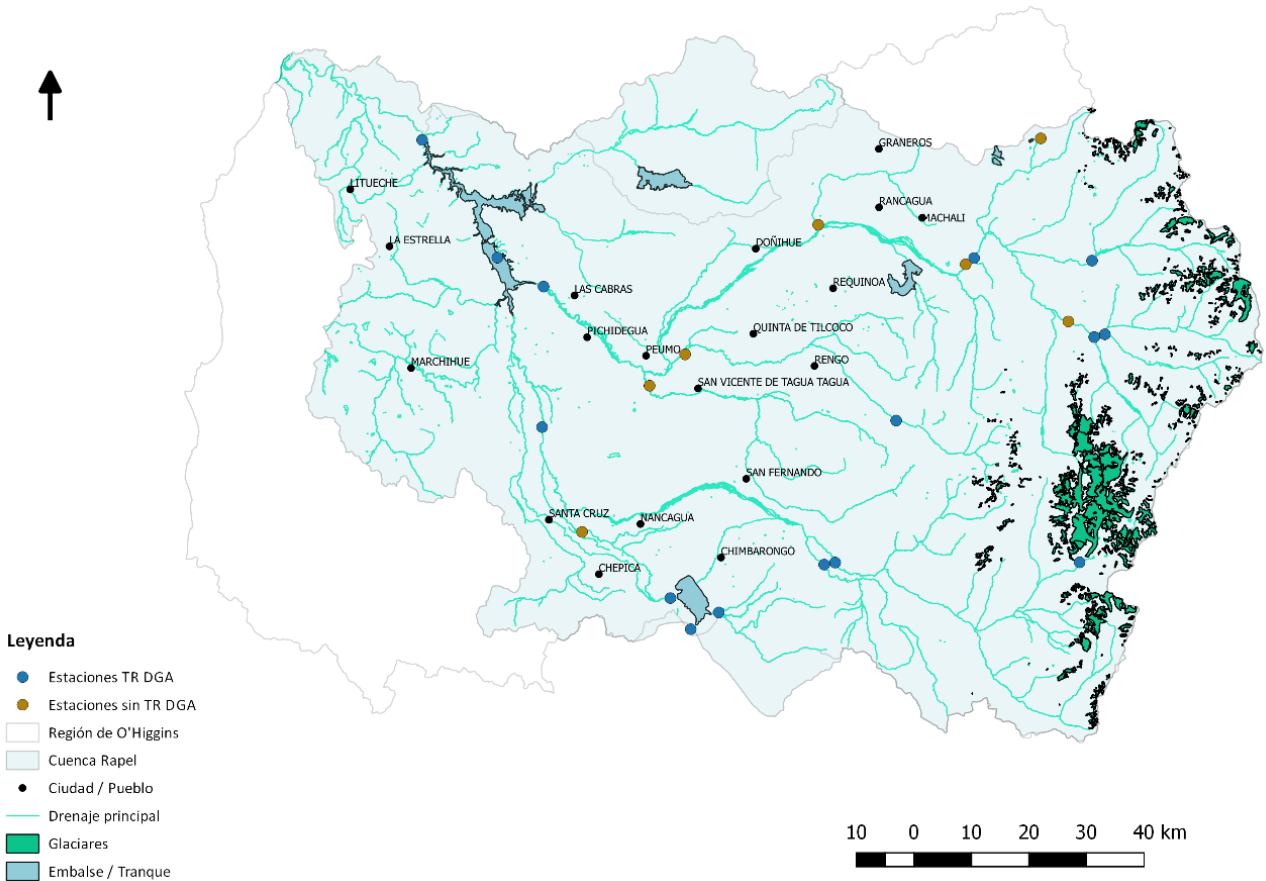


Figura 62. Distribución de estaciones superficiales en la CRR (elaborado por CSIRO, 2016).

Tabla 23. Comparación de las características de las redes de monitoreo de data aguas superficiales (elaborado por CSIRO, 2016).

CARACTERÍSTICAS	DGA (SNIA Y SATEL)
Número de estaciones vigentes (distribución espacial)	22 (16 tiempo real)
Número de parámetros	5
Tipos de parámetros	Altura, temperatura del agua, nieve acumulada, caudal, volumen del lago
Frecuencia de disponibilidad	Diario*, horario (tiempo real)
Manual (M) / Automatizados (A)	M, A
Acceso Público	si

CARACTERÍSTICAS	DGA (SNIA Y SATEL)
Protocolos / Confiabilidad	<p>La red está conformada por estaciones con observadores, los cuales, registran en forma diaria cada dato. Se tienen además equipos electrónicos que almacenan los datos y, otros, que además de almacenar los datos, los transmiten hasta Nivel Central, donde pueden ser vistos hora a hora.</p> <p>La primera verificación que se realiza antes de despachar los datos a nivel central, independiente de su origen, es efectuada por personal regional que compara los datos entregados por el observador, para comprobar que estos no tengan errores gruesos o visibles. Posteriormente y antes de cargar al Banco Nacional de Aguas (BNA) los datos provenientes de equipos electrónicos, el encargado regional, comprueba que los registros no presenten errores de continuidad.</p> <p>La evaluación de calidad se genera confrontando puntos de medición pluviométricos ubicados en zonas compatibles, esto quiere decir, dentro una subcuenca o valle específico, que permite analizar el efecto de una masa de aire sobre dicha zona. Teniendo, dicha zona a su vez, características particulares; como orientación y geografía, las cuales, van a determinar el efecto de esta tormenta sobre el instrumental instalado.</p> <p>Para la validación, la experiencia del analista permite descubrir los errores de lecturas directas provenientes de un observador o causados por el mal funcionamiento de un instrumento mecánico o electrónico.</p> <p>Los errores descubiertos pueden ser muchos y variados, y tal detección no es producto de cálculos académicos o procesos automáticos, sino que es producto de la experiencia y conocimientos que el analista tenga.</p>

*Data disponible dentro 80 días hábiles

Datos de aguas subterráneas:

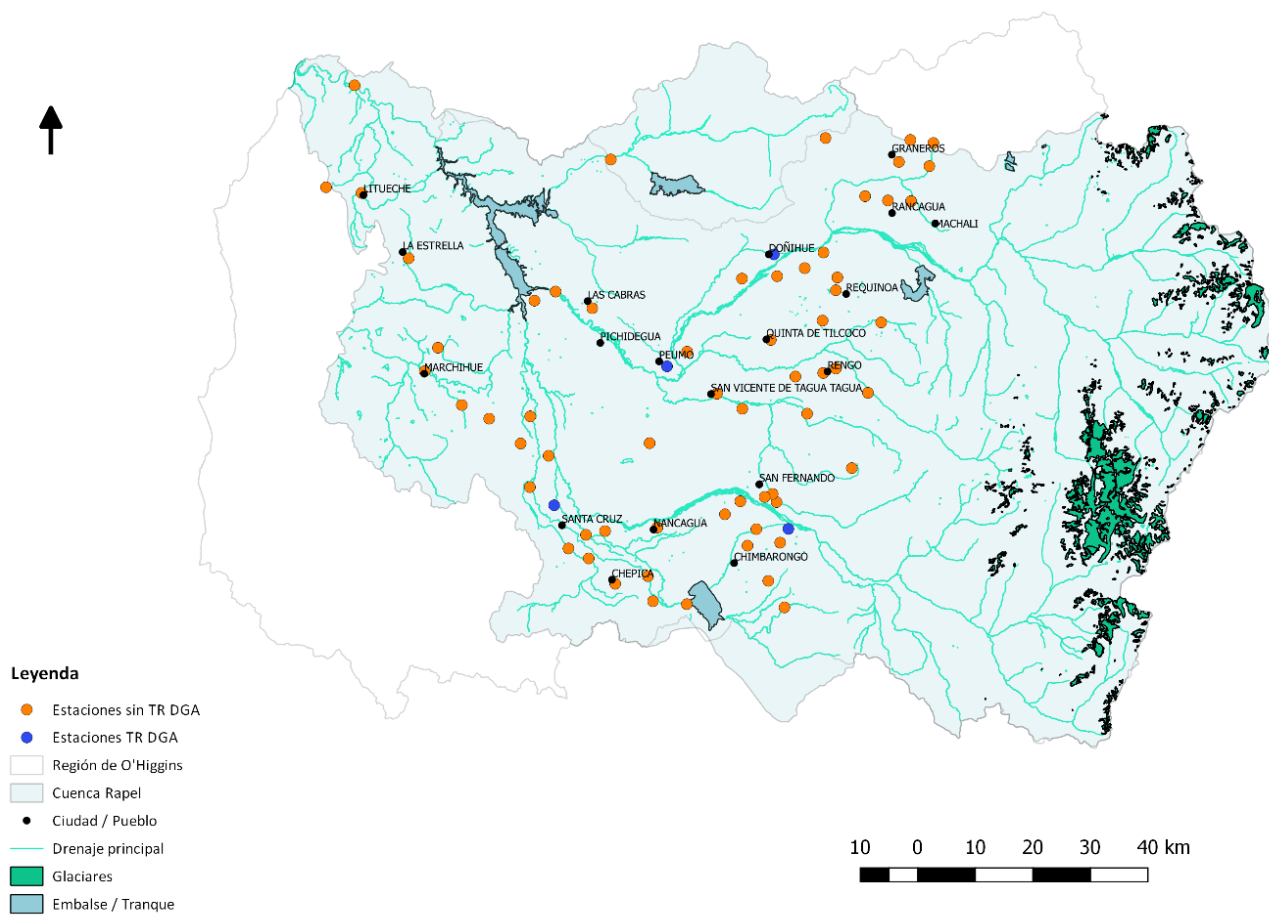


Figura 63. Distribución de estaciones subterráneas en la CRR (elaborado por CSIRO, 2016).

Tabla 24. Comparación de las características de las redes de monitoreo de aguas subterráneas (elaborado por CSIRO, 2016).

CARACTERÍSTICAS	DGA (SNIA Y SATEL)	APR	ESSBIO
Número de estaciones vigentes (distribución espacial)	66 (4 tiempo real)	- (pendiente)	- (pendiente)
Número de parámetros	3	- (pendiente)	2
Tipos de parámetros	Niveles estáticos de agua, voltaje, temperatura de agua	- (pendiente)	Niveles estáticos y dinámicos
Frecuencia de disponibilidad	4 – 6 veces anuales*	- (pendiente)	Mensual
Manual (M) / Automatizados (A)	M, A	- (pendiente)	- (pendiente)
Acceso Público	si	no	no
Protocolos / Confiabilidad	La primera verificación que se realiza antes de despachar los datos a nivel central, independiente de su origen, es	- (pendiente)	- (pendiente)

CARACTERÍSTICAS	DGA (SNIA Y SATEL)	APR	ESSBIO
	<p>efectuado por personal regional que compara los datos entregados por el observador, para comprobar que estos no tengan errores gruesos o visibles. Posteriormente y antes de cargar al Banco Nacional de Aguas (BNA) los datos provenientes de equipos electrónicos, el encargado regional, comprueba que los registros no presenten errores de continuidad.</p> <p>Para la validación, la experiencia del analista permite descubrir los errores de lecturas directas provenientes de un observador o causados por el mal funcionamiento de un instrumento mecánico o electrónico.</p> <p>Los errores descubiertos pueden ser muchos y variados, y tal detección no es producto de cálculos académicos o procesos automáticos, sino que es producto de la experiencia y conocimientos que el analista tenga.</p>		

*Data disponible dentro 80 días hábiles

Datos de la calidad de aguas:

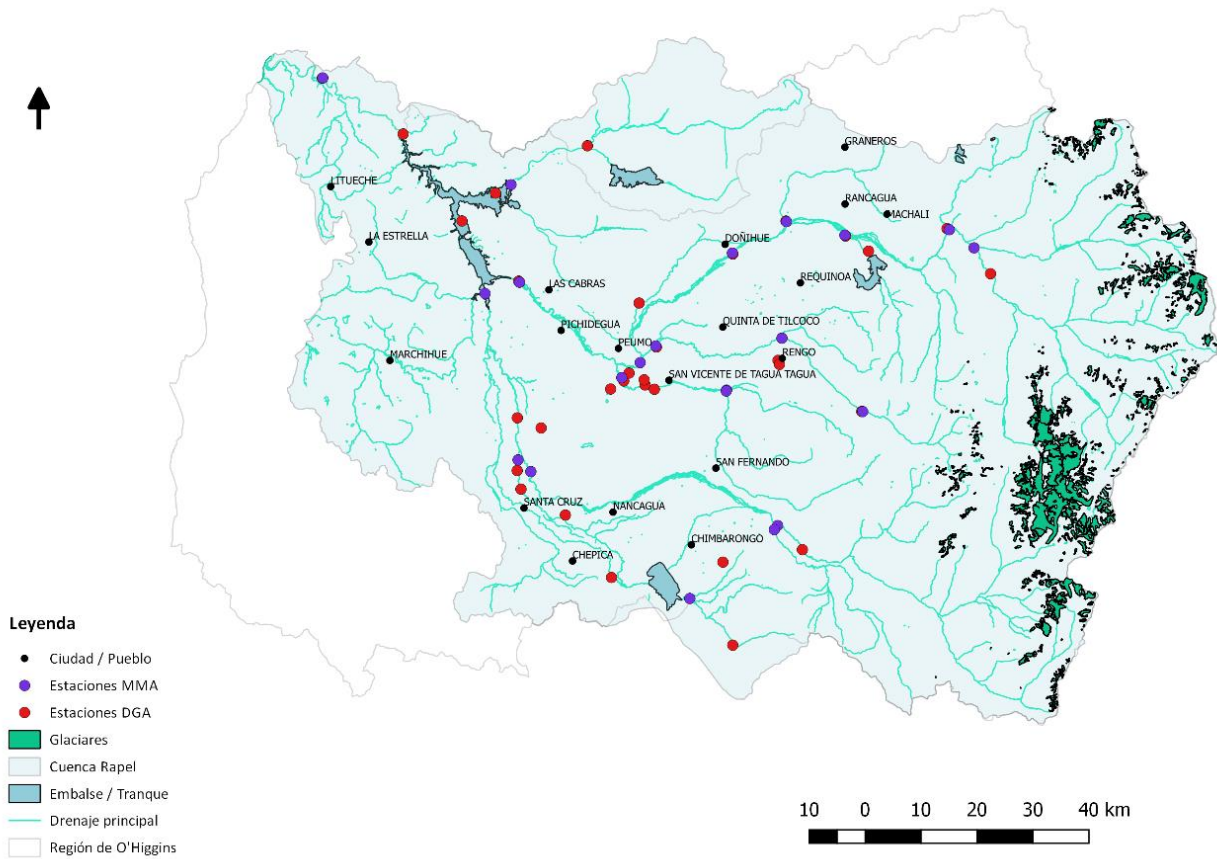


Figura 64. Distribución de estaciones que miden la calidad de aguas en la cuenca del Río Rapel (elaborado por CSIRO, 2016).

Tabla 25. Comparación de las características de las redes de monitoreo de la calidad de las aguas (elaborado por CSIRO, 2016).

CARACTERÍSTICAS	DGA (SNIA)	MMA / MESAS AMBIENTALES	APR	ESSBIO
Número de estaciones vigentes (distribución espacial)	33	21	- (pendiente)	- (pendiente)
Número de parámetros	40 (variable por estación)	33	- (pendiente)	- (pendiente)
Tipos de parámetros	Físicos, nitratos, pesados, etc.	Físicos, nitratos, pesados, etc.	- (pendiente)	- (pendiente)
Frecuencia de disponibilidad	2 – 3 veces anuales	4 (típicamente marzo, septiembre y diciembre)	anuales en junio y - (pendiente)	- (pendiente)

CARACTERÍSTICAS	DGA (SNIA)	MMA / MESAS AMBIENTALES	APR	ESSBIO
Manual (M) / Automatizados (A)	Manual	Manual	- (pendiente)	- (pendiente)
Acceso Público	si	No (solamente los miembros de las mesas ambientales y MMA de O'Higgins)	no	no
Protocolos / Confiabilidad	NCh-411	ISO 17025	- (pendiente)	NCh-411

*Data disponible dentro 80 días hábiles

A.2 Fichas de herramientas definidas

En esta sección se presenta las actividades necesarias para desarrollar las siete herramientas previamente destacadas en la Sección 3.4.2.

1. Medición (suplementaria) de caudales

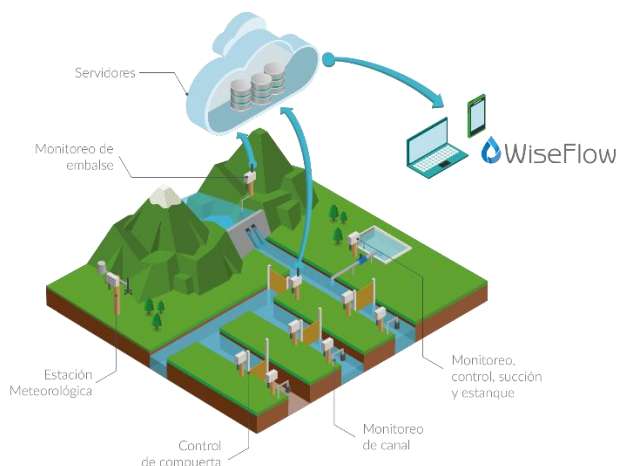


Figura 65. Ejemplo de plataforma WiseFlow© de la compañía WiseConn S.A.

Información básica	Tipo de herramienta	Telemetría de caudales / medición remota de caudales.
	Objetivo	Entregar información en tiempo real sobre la disponibilidad de caudales en secciones de río / canales de interés y desplegarla a través de una interfaz gráfica.
	Descripción	Estaciones de medición de caudales que permiten complementar la información pública / privada sobre disponibilidad de aguas en ríos / canales de la cuenca del Río Rapel.
	Significancia / utilidad	Reportar caudales diarios a una terminal central encargada de ponerlos a disposición de los usuarios de agua de la cuenca mediante una plataforma de información. Secciones de río y/o canales no monitoreados podrán ser incorporados a la red existente de monitoreo. Esta contribuirá a transparentar la disponibilidad de aguas, una gestión más eficiente de las aguas, detectar pérdidas y/o extracciones ilegales, orientar inversiones de mantenimiento y/o inversión en obras menores de canalización y/o almacenamiento de aguas.
	Estado actual	Existen estaciones de monitoreo administradas por la DGA regional y privados, sin embargo, existe aún un claro vacío de información de calidad y frecuencia apropiadas sobre caudales, especialmente, en cuencas intermedias y de salida.
	Cobertura geográfica	Cuenca de Rapel, Cuenca Cachapoal, Cuenca Tinguiririca, Cuenca Río Claro.
	Ejemplos actuales	Existen ejemplos concretos de telemetría de caudales en tiempo real y su puesta a disposición para los usuarios a través de páginas webs de las juntas de vigilancia / asociaciones de canalistas en los siguientes ríos: Copiapó, Huasco, Elqui y Maipo.
	Limitaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Limitaciones tecnológicas para seleccionar los instrumentos más adecuados a la morfología e hidrología de los cauces. • Limitaciones en términos de accesibilidad, operatividad y mantención de las estaciones de telemetría. • Riesgos asociados a la ocurrencia de eventos extremos y desprotección de las instalaciones.

		<ul style="list-style-type: none"> • Compatibilidad (operacional y tecnológica) con las redes existentes (DGA y privadas). • Fuerte inversión inicial y costos periódicos de operación y mantenimiento.
	Insumos / información básica	<ul style="list-style-type: none"> • En la actualidad la DGA cuenta con 23 estaciones de las cuales sólo 16 reportan caudales en tiempo real. Comparativamente, la cuenca presenta el menor número de estaciones de monitoreo de caudales (23) entre la III y IX regiones del país (29-73) (DGA, 2016). • El desarrollo e implementación de esta herramienta requiere la definición de puntos estratégicos de monitoreo de caudales. Inicialmente se han identificado como áreas de interés la subcuenca del río Alhué, las secciones medias de los ríos Cachapoal y Tinguiririca, río Claro y salida de la cuenca. Una estimación inicial indica la necesidad de al menos 5-10 estaciones de medición de caudales/telemetría. • Se necesita un estudio en detalle para identificar la ubicación óptima para la ampliación de la red de monitoreo existente en la cuenca.
	Equipamiento necesario	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumental de medición y almacenamiento de información sobre caudales. • Equipos de transmisión de datos. • Servidor de recepción de datos. • Plataforma de despliegue de datos. • Software de recepción, almacenamiento, manejo y despliegue de los datos. • Personal capacitado para operar, mantener y apoyar el despliegue de la información recopilada.
Desarrollo	Plazo	<ul style="list-style-type: none"> • 4-6 meses estudio para definir el número óptimo de estaciones y su ubicación. • 18-30 meses para diseño, construcción y puesta en operación.
	Recursos humanos	<p>La implementación y puesta en operación de esta herramienta requiere de al menos los siguientes profesionales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero civil hidráulico / agrícola / recursos hídricos. • Ingeniero en computación. • Técnico en electrónica / sistemas de comunicación. • Técnico hidromensor con experiencia en sistemas de telemetría.
Operación	Posibles responsables	Federación de Juntas de Vigilancia. Dirección General de Aguas. Centro del Agua para la Agricultura.
	Capacidades para su operación / mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Oficina de administración, recopilación de datos, operación y mantenimiento de estaciones telemétricas, asistencia en situaciones de emergencia. • Técnico hidromensor. • Técnico en computación. • Técnico en electrónica / comunicación.
	Frecuencia de mantenimiento	Según las especificaciones técnicas detalladas en el instrumental instalado. Se prevé al menos una visita de inspección antes de la temporada de riego. Se recomienda una visita al año para efectuar labores de mantenimiento de las estaciones.
Costos	Inversión	Entre M\$ 19.220 CLP y M\$ 84.620 CLP por estación dependiendo del tamaño de la sección de aforo. Si se consideran 5 estaciones, el costo es del orden de M\$ 261.600 (FUENTE: DGA, Análisis crítico de las redes hidrométricas, 2013).

	Operación / mantención	Valor unitario por estación considerando: vehículo, gasolina, horas-hombre, insumos.
	Posibles fuentes de financiamiento	Dirección General de Aguas (DGA); Juntas de Vigilancia (usuarios); Comisión Nacional de Riego (CNR); CORFO; Ministerio de Obras Públicas (MOP); Aporte del sector privado.
Impacto	Principales usuarios / beneficiarios	Los principales usuarios/beneficiarios son: <ul style="list-style-type: none"> Regantes de las cuencas de los Ríos Cachapoal, Tinguiririca y Alhué secciones medias y de salida. Usuarios de aguas para uso industrial. Sector público para una mejor estimación del balance hídrico en la cuenca.
Observaciones		

2. Modelo de pronóstico de caudales (y eventos extremos)

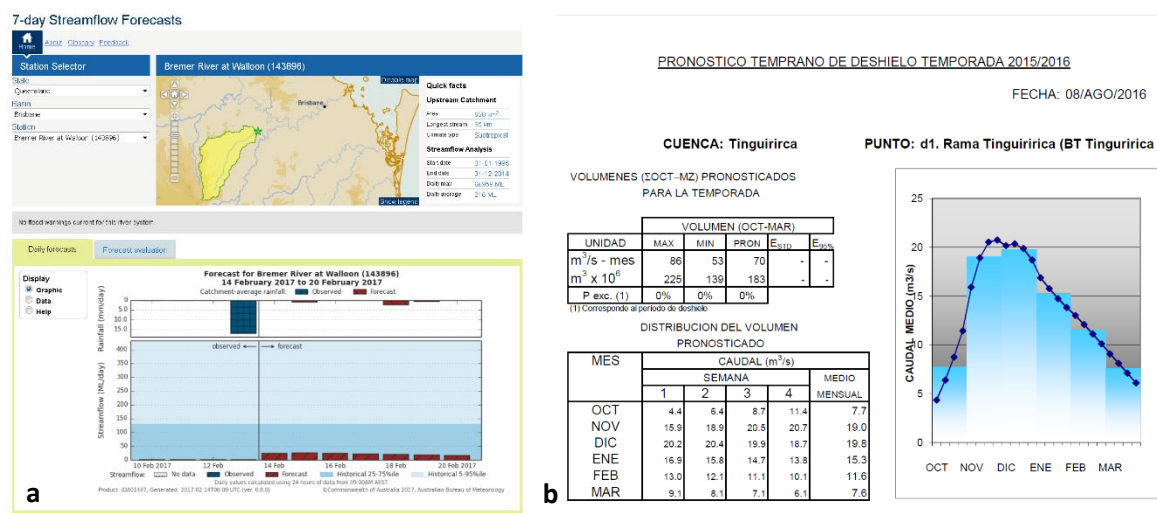


Figura 66. a) Ejemplo pronóstico de caudales (semanal) reportados por la Oficina de Meteorología de Australia; b) Ejemplo pronóstico de caudales estacionales (mensuales) reportados por CDEC-SIC para la temporada 2015/2016.

Información básica	Tipo de herramienta	Modelo de pronóstico de caudales de deshielos y eventos extremos.
	Objetivo	Obtener estimaciones de caudales futuros en las cuencas de cabecera de la cuenca de Rapel a una escala espacial y temporal útil para los usuarios del agua.
	Descripción	Corresponde a un modelo de pronóstico (combinación de software and hardware) capaz de predecir caudales de deshielo aportados por tres cuencas de cabecera principales: Cachapoal, Tinguiririca y Claro sobre la base de las precipitaciones observadas y la nieve acumulada. A su vez permite anticipar la ocurrencia de eventos extremos (sequías, inundaciones).
	Significancia / utilidad	Esta herramienta permitirá a los usuarios de las aguas superficiales anticipar la disponibilidad y/o escasez de aguas en la temporada estival o de bajas precipitaciones y planificar de mejor manera la temporada de alta demanda de recursos hídricos. Esto resultará en una mejor gestión de los recursos hídricos superficiales y a su vez permitirá anticipar la ocurrencia de eventos extremos como las sequías hidrológicas.
	Estado actual	Existen instituciones que proveen pronósticos de caudales de deshielo, por ejemplo, DGA, CDEC-SIC. Sin embargo, estos no son accesibles o conocidos por la gran mayoría de los usuarios de las aguas en la región. La

		modelación de eventos extremos no es reportada a los usuarios de agua de la región.
	Cobertura geográfica	Cuencas de cabecera de los ríos Cachapoal, Tinguiririca y Claro.
	Ejemplos actuales	<p>En la actualidad existen dos instituciones nacionales que reportan pronósticos de deshielo en la cuenca de Rapel:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La Dirección General de Aguas (DGA) provee un pronóstico mensual, con un margen de error del 20%, orientado a la temporada de riego (Septiembre-Marzo) en tres (3) estaciones: Cachapoal en Puente Termas, Río Claro en Hacienda Las Nieves y Tinguiririca en Briones. • El Centro de Despacho Económico de Carga - Sistema Interconectado Central (CDEC-SIC) provee un pronóstico mensual y semanal, entre los meses de Octubre y Marzo orientado a la producción de hidroelectricidad para siete (7) puntos: Cachapoal en Bocatoma Canal Sauzal, afluente a Embalse Central Rapel, Captación Río Teno, Rama Tinguiririca Bocatoma 1450 (Ciruelo y La Gloria), Rama Portillo Bocatoma 1450 (Azufre, Los Humos y Riquelme), Rama Tinguiririca Bocatoma Tricahue, y Rama Azufre Bocatoma La Puya y Los Helados. Estos pronósticos de deshielo son revisados y actualizados con datos observados al final de cada mes entre Agosto y Febrero. • A su vez el Observatorio de Riesgos Agroclimáticos del MINAGRI presenta pronósticos de precipitaciones de corto y mediano plazo.
	Limitaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Limitaciones inherentes de la herramienta de modelación asociadas a la resolución temporal y espacial, incertidumbre en los resultados, precisión y exactitud de los pronósticos. • Limitada información disponible sobre rutas / alturas de nieves para validar los pronósticos.
	Insumos / información básica	<ul style="list-style-type: none"> • En la actualidad existe solamente dos estaciones de rutas de nieve vigente en la cuenca. • Existe una iniciativa liderada por el EULA para la instalación de nuevas estaciones de monitoreo de nieves en la cuenca, pero se desconoce el estado de avance de la instalación y operatividad de dichas estaciones. Una vez conocido el producto de esta iniciativa se podrá cuantificar la brecha real en términos de información disponible. • La información necesaria para desarrollar y operar esta herramienta corresponde a datos de precipitación y rutas de nieves en las cuencas de cabecera de los ríos Cachapoal, Tinguiririca y Claro. • El CDEC-SIC utiliza imágenes satelitales MODIS (de libre acceso) para el pronóstico y revisión de caudales. • A su vez, es necesario la definición de los puntos de monitoreo para la predicción de caudales.
	Equipamiento necesario	<ul style="list-style-type: none"> • Estaciones de precipitaciones y rutas de nieve entregando información de calidad sobre precipitaciones sólidas y líquidas en las cuencas de cabecera de los ríos Cachapoal, Tinguiririca y Claro. • Estación de trabajo de alto rendimiento donde resida el modelo de pronóstico y pueda ser almacenado, ejecutado y actualizado de acuerdo a las necesidades de los usuarios. • Tecnología para comunicar los resultados del pronóstico a los usuarios cada vez que este se actualice.
Desarrollo	Plazo	8 - 12 meses para el desarrollo del modelo, puesto en operación (marcha blanca) y transferencia tecnológica.

	Recursos humanos	<p>Consultoría en recursos hídricos con la capacidad de producir un modelo de pronóstico adecuado a las necesidades de los usuarios del agua.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero Civil Hidráulico. • Hidrólogo / Experto en nieves. • Analista SIG / Cartógrafo. • Hidromensor experiencia en alta montaña / nieves / glaciares.
Operación	Posibles responsables	Federación de Juntas de Vigilancia Sexta Región. Dirección General de Aguas.
	Capacidades para su operación / mantención	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero Civil Hidráulico / Agrícola / Recursos Hídricos. • Técnico en electrónica / comunicaciones. • Hidromensor experiencia en alta montaña / nieves / glaciares.
	Frecuencia de mantención	<p>Las estaciones que alimentan el modelo requerirán una mantención periódica para garantizar la calidad de los datos.</p> <p>El modelo de pronóstico requiere una post-auditoria para garantizar la validez de sus resultados. Se recomienda una post-auditoria cada dos a cinco años.</p>
Costos	Inversión	M\$70.000 - M\$400.000 dependiendo el tipo de pronóstico. La primera estimación utiliza los pronósticos que ya existen de la DGA y CDEC-SIC para desarrollar una plataforma para integrarlos. La segunda está basada en el piloto ASTER para la subcuenca Tinguiririca.
	Operación / mantención	
	Posibles fuentes de financiamiento	<p>CORFO</p> <p>Fondos de Innovación para la Competividad (FIC).</p> <p>Dirección General de Aguas.</p> <p>Ministerio de Obras Públicas</p> <p>Ministerio de Agricultura</p> <p>Juntas de Vigilancia</p> <p>Comisión Nacional de Riego</p> <p>Hidroeléctricas</p> <p>Codelco</p> <p>CDEC-SIC</p>
Impacto	Principales usuarios / beneficiarios	Los usuarios de las aguas y la comunidad en general se beneficiarán de la información que entregue esta herramienta facilitando la gestión de los recursos hídricos. Los beneficiarios directos serán las organizaciones de regantes y los productores de hidroelectricidad.
<p>Observaciones</p> <p>Existe la posibilidad de combinar los pronósticos realizados en la actualidad por la DGA y CDEC-SIC en un pronóstico para las cuencas de cabecera de los ríos Cachapoal y Tinguiririca. Esta información puede ser desplegada mediante una plataforma de información a la escala temporal a la cual estos pronósticos (DGA, CDEC-SIC) son desplegados. Sin embargo, los usuarios dependerán de la frecuencia de entrega de dichos pronósticos con nulo control sobre la información desplegada y/o producida por dichas instituciones. A su vez, esta opción no permite la disminución de la incertidumbre en los pronósticos actuales ni tampoco su validación.</p>		

3.a Plataforma de información

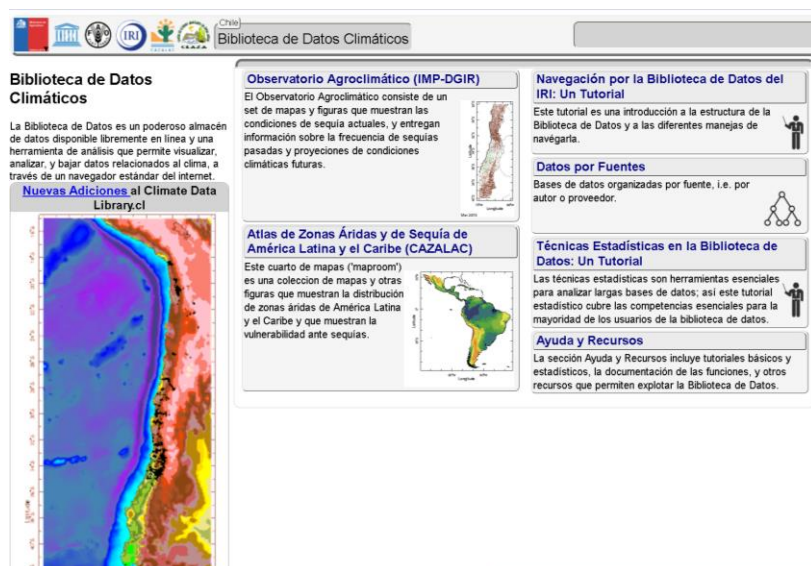


Figura 67. Ejemplo de una plataforma de información reportando información / datos sobre sequías históricas, precipitaciones, temperatura y vulnerabilidad a la sequía, administrado por el Departamento de Gestión Integral de Riesgos (DGR), MINAGRI.

Información básica	Tipo de herramienta	Plataforma de información que permita acceder y desplegar información relevante sobre recursos hídricos.
	Objetivo	Administrar, almacenar y desplegar información relevante sobre recursos hídricos y acoger las herramientas necesarias para su gestión.
	Descripción	<p>Esta herramienta consiste en una combinación de hardware y un paquete computacional desarrollado en algún software que permita informar a los usuarios sobre: estado actual de los recursos hídricos en la cuenca a una resolución temporal que sea informativa para los usuarios (semanal, mensual); oferta y demanda de recursos hídricos a escala de cuenca, subcuenca y/o comuna (balance hídrico); recolectar y desplegar información en línea desde las distintas estaciones de monitoreo; recolectar y desplegar en línea información sobre los caudales de pronóstico más actualizados disponibles; almacenar los estudios de dominio público y/o privado en formato digital para consulta por parte de los usuarios; desplegar los resultados de la herramienta de modelación integrada (superficial, subterránea, calidad de aguas) para distintos escenarios almacenados; recolectar posibles denuncias de extracciones ilegales de aguas y producir un reporte; servir de interfaz para la toma de decisiones y la modelación participativa.</p> <p>Esta herramienta deberá recolectar y desplegar la información en distintos formatos: reportes de consulta, gráficos y tablas, mapas, entre otros. Se prevé que deberá contar con un visualizador gráfico de los resultados a través de un sistema de información geográfico (SIG) (ver descripción herramienta adicional) y/o una capa web de interfaz. Deberá ser compatible con los sistemas actuales en operación (DGA, MINAGRI) con la finalidad de recolectar la información en línea y/o capaz de soportar el ingreso de nuevos datos de manera manual y/o semiautomática. Se prevé que se deberá contar con al menos tres niveles de acceso: consulta/visita, denuncia y administración.</p>
Significancia / utilidad	Esta herramienta es fundamental para avanzar en la gestión de los recursos hídricos de manera transparente y actualizada. La herramienta permitirá el acceso a la información relevante sobre recursos hídricos y aspectos sociales, económicos y ambientales por parte de todos los usuarios de las aguas de la cuenca de Rapel.	

		Esta plataforma servirá de enlace entre las herramientas implementadas y actuará como una “ventanilla única” para los usuarios buscando información relevante sobre los recursos hídricos de la cuenca del río Rapel.
	Estado actual	En la actualidad no existe una herramienta de este tipo para la cuenca de Rapel. Existe, sin embargo, una iniciativa FIC-2016 (Proyecto Gestión de Información de Recursos Hídricos) desarrollado por el Centro del Agua para la Agricultura, en la cual se busca entregar informes personalizados sobre variables hidrometeorológicas a distintos grupos de usuarios.
	Cobertura geográfica	Esta herramienta cubre la totalidad de la cuenca del río Rapel y sus tributarios.
	Ejemplos actuales	Existen numerosos ejemplos (nacionales e internacionales) de plataformas de información. A continuación se listan solo algunos: base de conocimiento desarrollada por CSIRO para Rapel (https://research.csiro.au/gestionrapel/es/base-de-datos/), observatorio de riesgos del MINAGRI (http://agroclimatico.minagri.gob.cl/observatorio-de-riesgos-agroclimaticos-2/), el Sistema de Información de Recursos Hídricos Australiano (AWRIS, http://www.bom.gov.au/water/about/wip/awris.shtml).
	Limitaciones	Las limitaciones principales se relacionan con el acceso a la información y datos a ser desplegados por la plataforma de información. Existen organismos públicos y privados que consideran ciertos datos relativos a los recursos hídricos como información estratégica y de dominio no-público. Se prevé que será necesario la implementación de acuerdos de traspaso de información entre los distintos organismos públicos/privados y el administrador de esta herramienta.
	Insumos / información básica	Esta herramienta requerirá: <ul style="list-style-type: none"> • Un acuerdo explícito sobre traspaso de información entre los organismos tanto públicos como privados que cuenten con información relevante sobre los recursos hídricos. • Levantamiento de datos de disponibilidad de aguas (ríos canales, embalses, niveles de pozos, etc.), datos de uso/consumo de aguas, información y estudios disponibles, información climática (precipitaciones, temperatura, humedad relativa, etc.), información sobre actividades económicas ligadas al uso de los recursos hídricos, estado de la calidad de aguas, escenarios de desarrollo de recursos hídricos, herramientas de modelación superficial, subterránea y de calidad de aguas. • Un organismo encargado de administrar, operar y mantener dicha herramienta, y enlazar a los usuarios de las aguas con la comunidad en general y los organismos reguladores del estado.
	Equipamiento necesario	Esta herramienta requerirá: <ul style="list-style-type: none"> • Enlaces con los sistemas actuales que recopilan información hidrometeorológica mediante un software de captura de datos, almacenamiento en un servidor y despliegue en una página / interfaz web de acceso público. • Organismo con sede física en la cuenca a cargo de administrar, operar y traspasar la información recopilada.
Desarrollo	Plazo	<ul style="list-style-type: none"> • 24 – 30 meses
	Recursos humanos	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero Computación/Electrónica especialista en plataformas de información. • Ingeniero de recursos hídricos/agrícola. • Ingeniero en computación/Experto en manejo de bases de datos. • Experto en sistemas de información geográficos (SIG)/Cartógrafo. • Asistente de terreno (2) /Levantamiento de información.
Operación	Posibles responsables	Organismo de cuenca / Federación de Juntas de Vigilancia / Dirección General de Aguas.

	Capacidades para su operación / mantención	<ul style="list-style-type: none"> • Experto informático / Ingeniero en computación. • Experto en sistemas de información. • Ingeniero de recursos hídricos.
	Frecuencia de mantención	Se sugiere mantención y actualización periódica (semestral) para garantizar el funcionamiento de la plataforma de información.
Costos	Inversión	M\$500.000 basado en lo propuesto para el proyecto Copiapó.
	Operación / mantención	
	Posibles fuentes de financiamiento	Unión público-privado Usuarios de la información Gobierno Regional (con presupuesto anual) CORFO Ministerio de Obras Públicas Ministerio de Agricultura
Impacto	Principales usuarios / beneficiarios	Esta herramienta beneficia a todos los usuarios del agua y sectores productivos donde el agua es un insumo estratégico dentro de la cuenca del río Rapel (agricultura, pecuario, minero, industrial, doméstico, hidroeléctrico, turismo, ambiental, entre otros).
Observaciones Esta herramienta es la componente principal que permite al acceso a la información de recursos hídricos (oferta y demanda) disponible para la cuenca del Río Rapel. Está orientada a todos los usuarios del agua y no a un sector productivo en particular y por lo tanto debería ser administrada y mantenida por un organismo transversal.		

3.b Visualizador gráfico/interfaz usuarios/SIG/base de datos-conocimiento

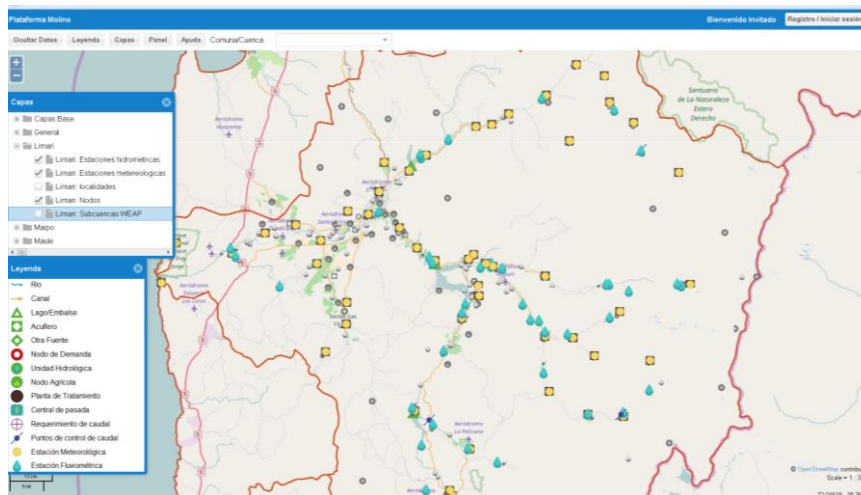


Figura 68. Plataforma El Molino para la cuenca del río Limarí. Ejemplo de un visualizador gráfico incluyendo interfaz de usuario y despliegue SIG de información hidrometeorológica.

Información básica	Tipo de herramienta	Visualizador gráfico / interfaz de usuario / SIG / base de datos-conocimiento.
	Objetivo	Realizar la interfaz y despliegue de la información y conocimiento recopilado de manera amigable, accesible y verificable para todas las partes interesadas. Fomentar la transparencia y el acceso a la información.
	Descripción	Este conjunto de herramientas corresponde a la “cascara” exterior de la plataforma de información (PI), la cual actúa como interfaz directa con los usuarios y administradores del sistema, y a la base de datos residente en la PI. Corresponde a un conjunto de paquetes computacionales-software (SIG, web mapping services, database managers, web-based GUI, knowledge management, Web-GIS) y hardware que permiten: visualizar resultados de la herramienta de modelación integrada, administrar

		<p>usuarios y privilegios, hacer consultas espaciales, ingresar nueva información, acceder la base de datos de los estudios efectuados, entre otros. Sirve como base para la modelación participativa en términos de toma de decisiones, y para apoyar la ubicación de potenciales extracciones ilegales de agua y posteriores denuncias.</p> <p>Esta herramienta permitirá almacenar otra información relevante a la GIRH pero no directamente relacionada a la disponibilidad de recursos hídricos. Por ejemplo, se anticipa que esta herramienta debería contener información sobre aspectos socioeconómicos (en mapas, planos, tablas), ambientales (pasivos ambientales, contaminación, áreas protegidas, biodiversidad, etc.) y de extracciones presentes en la cuenca y, por lo tanto, la recopilación de información se deberá efectuar sólo una vez.</p>
	Significancia / utilidad	Esta herramienta permitirá el acceso y la actualización de la información relevante para la gestión de los recursos hídricos en la cuenca. Permitirá a los usuarios acceder de forma transparente, rápida y efectiva a la información existente y de dominio público.
	Estado actual	En la actualidad no existe este tipo de herramienta en la cuenca.
	Cobertura geográfica	Cuenca del río Rapel y sus tributarios.
	Ejemplos actuales	Plataforma El Molino (http://registro.plataformaelmolino.cl/), red hidrométrica de la DGA (http://www.arcgis.com/apps/OnePane/basicviewer/index.html?appid=d508beb3a88f43d28c17a8ec9fac5ef0), plataforma ELVIS (http://www.wisdom.eoc.dlr.de/en.html), sistema de gestión de datos DAISY, SMART-WebGIS y gestión de conocimiento DRPEDIA del proyecto SMART (http://www.iwrm-smart2.org/).
	Limitaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Limitaciones tecnológicas, de acceso a la información que alimenta la herramienta, falta de conocimiento/capacitación por parte de los usuarios para interactuar con la herramienta. • Falta de acceso a información relevante sobre recursos hídricos debido a problemas de propiedad de la información o a su clasificación como acceso restringido.
	Insumos / información básica	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilación de la información existente relacionada a recursos hídricos y aspectos sociales, económicos y medioambientales de la cuenca. • Verificación de la calidad de la información. • Homogeneización de la información a un formato coherente y útil para fines de GIRH y de los principales usuarios de la PI. • Definición de estándares de despliegue de la información. • Control de calidad de la nueva información ingresada.
	Equipamiento necesario	<ul style="list-style-type: none"> • Servidor de alto rendimiento para administrar, almacenar y desplegar la información. • Licencias de software para aplicaciones comerciales propietarias. • Equipos de respaldo (informáticos/energía) en caso de falla de servidores.
Desarrollo	Plazo	24 – 30 meses
	Recursos humanos	<ul style="list-style-type: none"> • Experto en el diseño de sistemas de información y despliegue de datos. • Ingeniero Civil Hidráulico / Agrícola / Recursos Hídricos. • Analista de sistemas / técnico en informática. • Especialista SIG / Geógrafo / Cartógrafo • Diseñador gráfico / web designer. • Asistentes de proyecto para la recopilación de la información (2-3).
Operación	Posibles responsables	Organismo de cuenca / Federación de Juntas de Vigilancia

	Capacidades para su operación / mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> Analista de sistemas / administrador. Experto SIG / geógrafo / cartógrafo. Técnico en computación.
	Frecuencia de mantenimiento	Se sugiere mantenimiento y actualización periódica (anual) para garantizar el funcionamiento de la herramienta.
Costos	Inversión	Este costo estará cubierto bajo del costo de la Plataforma de Información (3.a).
	Operación / mantenimiento	Este costo estará cubierto bajo del costo de la Plataforma de Información (3.a).
	Posibles fuentes de financiamiento	Lo mismo que 3.a.
Impacto	Principales usuarios / beneficiarios	Esta herramienta beneficia a todos los usuarios del agua y sectores productivos donde el agua es un insumo estratégico dentro de la cuenca del Río Rapel.
Observaciones En principio esta herramienta es una componente principal de la PI para garantizar el acceso a información relevante y oportuna por parte de los beneficiarios de la PI. Se podría contar con una PI pero sin una visualización atractiva, amigable y simple, el propósito de la PI se pierde.		

4. Herramienta de modelación integrada (superficial, subterránea, calidad de aguas)



Figura 69. Ejemplo de herramienta de modelación integrada basada en el modelo SOURCE⁵³.

Información básica	Tipo de herramienta	Herramienta de modelación integrada de recursos hídricos.
	Objetivo	Predecir la disponibilidad de recursos hídricos y cuantificar el balance hídrico de acuerdo a diferentes escenarios de explotación y demanda. Evaluar la evolución de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.
	Descripción	Esta herramienta consta de tres sub-componentes: A) Herramienta de modelación superficial Esta herramienta (software) permite la cuantificación de los caudales superficiales de los principales ríos de la cuenca con la finalidad de evaluar posibles escenarios de gestión de los recursos hídricos y garantizar la seguridad hídrica. La herramienta en sí puede ser un modelo semi- o completamente distribuido, calibrado y validado en puntos relevantes de

⁵³ <http://ewater.org.au/products/ewater-source/>

	<p>interés y presenta una completa evaluación de las incertidumbres en las estimaciones.</p> <p>B) Herramienta de modelación subterránea Esta herramienta (software) consiste en el desarrollo de un modelo regional de aguas subterráneas, calibrado y validado. Esta herramienta debe ser capaz de predecir el comportamiento de los acuíferos con un nivel de confianza aceptable y una cuantificación de la incertidumbre de acuerdo a la calidad de la información utilizada.</p> <p>C) Herramienta de calidad de aguas Esta herramienta (software) consiste en el desarrollo de un método de clasificación de las aguas superficiales y subterráneas en términos de calidad y el cumplimiento de la normativa vigente y el despliegue de la correspondiente clasificación a través del visualizador gráfico/SIG. En sí, el producto es un método descriptivo de la calidad de las aguas sobre la base de la información recopilada por la DGA, MMA y SISS.</p>
Significancia / utilidad	Esta herramienta es fundamental para la evaluación y conocimiento del balance hídrico de la cuenca bajo los escenarios de explotación, desarrollo o de cambio climático. La cuantificación del balance hídrico permitirá una mejor gestión de los recursos y aumentar la resiliencia de la cuenca frente a eventos climáticos extremos (sequía). La evaluación de la calidad de las aguas permitirá gestionar los riesgos a la contaminación y la identificación de amenazas a las fuentes de aguas utilizadas en la cuenca.
Estado actual	En la actualidad existe una herramienta de modelación superficial que acopla los modelos SWAT-MAGIC para efectuar el balance de las aguas superficiales desarrollado en el marco de un proyecto FIC. No existen herramientas apropiadas a la escala de cuenca para evaluar las aguas subterráneas y la calidad de las aguas.
Cobertura geográfica	La herramienta de modelación integrada deberá considerar la cuenca en su totalidad. La componente de calidad de aguas puede ser desarrollada inicialmente en puntos estratégicos de relevancia ambiental, por ejemplo, Estero Alhué.
Ejemplos actuales	El modelo SOURCE desarrollado por eWater (Australia) es un sistema de modelación integrado, compartimentado en módulos superficiales, subterráneo y de calidad de aguas. El modelo SWAT-MAGIC desarrollado por EULA dentro el marco de un proyecto FIC-2012.
Limitaciones	<ul style="list-style-type: none"> • La herramienta de modelación integrada entregará resultados a escalas espaciales y temporales probablemente agregadas (por ejemplo, nivel de subcuenca o tramos de ríos, mensual), y por lo tanto, los resultados pueden no ser útiles para fines que necesiten otras escalas, por ejemplo, pronósticos en secciones o bocatomas particulares a escala diaria o semanal. • La calidad de los resultados de la herramienta de modelación dependerá de la calidad y disponibilidad de datos para alimentar dichas herramientas (precipitaciones, uso de suelo, tipo de suelos, obras de regulación, etc.). • Estos modelos deberán ser calibrados, validados, y sometidos a un continuo control de calidad y post-auditoría para garantizar su validez y utilidad en el tiempo.
Insumos / información básica	<ul style="list-style-type: none"> • En la actualidad existe información disponible para diseñar el modelo superficial, sin embargo, existe limitada información fluviométrica para calibrar el modelo a escala regional. • Existe limitada información disponible para calibrar un modelo de aguas subterráneas. • Existe suficiente información de calidad de aguas para caracterizar ciertas secciones de cursos superficiales y acuíferos en términos de calidad de sus aguas.

		<ul style="list-style-type: none"> Los requerimientos de datos son: hidrometeorológicos, usos de agua, información sectores de riego, obras de conducción/regulación/almacenamiento de aguas, propiedades de acuíferos, geometría de acuíferos, catastro de pozos, datos calidad de aguas superficiales y subterráneas. Esta herramienta cuantificará el balance hídrico a escala de cuenca, subcuenca, y tramos de ríos de interés, a una escala temporal mensual.
	Equipamiento necesario	<ul style="list-style-type: none"> Estación de trabajo (computador) de alto rendimiento. Licencias de software propietario en caso de ser necesario (ej. SOURCE).
Desarrollo	Plazo	24 meses
	Recursos humanos	<p>El desarrollo de esta herramienta y sus componentes requiere de un equipo multidisciplinario:</p> <ul style="list-style-type: none"> Líder de proyecto. Ingeniero Civil Hidráulico / Recursos Hídricos experto en modelación y evaluación de recursos hídricos. Hidrogeólogo. Ingeniero Ambiental. Experto SIG / Cartógrafo. Asistentes de proyecto.
Operación	Posibles responsables	Dirección General de Aguas / Federación de Juntas de Vigilancia.
	Capacidades para su operación / mantención	<ul style="list-style-type: none"> Ingeniero Recursos Hídricos / Ambiental. Técnico en recursos hídricos / agrícolas. Hidromensor
	Frecuencia de mantención	Post-auditoria / revisión de las herramientas de modelación en intervalos de dos a cinco años.
Costos	Inversión	Entre M\$250.000 a M\$300.000
	Operación / mantención	
	Posibles fuentes de financiamiento	<p>Gobierno Regional Dirección General de Aguas Juntas de Vigilancia y los usuarios de la información CORFO (bien público) Comisión Nacional de Riego Ministerio de Obras Públicas Ministerio de Agricultura Ministerio del Medio Ambiente La Fundación para la Innovación Agraria Hidroeléctricos Codelco</p>
Impacto	Principales usuarios / beneficiarios	Los principales beneficiarios serán los usuarios de las aguas en la cuenca de Rapel y la comunidad en general, la cual estar informada de aquellas zonas críticas en términos de disponibilidad y calidad de aguas.
<p>Observaciones Se cuenta en la actualidad con una herramienta desarrollada en el marco del proyecto FIC ejecutado por EULA, la cual acopla el SWAT y MAGIC con la finalidad de reportar caudales mensuales. Existen ciertas limitaciones de esta herramienta que necesitan ser abordadas: por ejemplo, la reproducción de las reglas de operación de las obras de regulación, la operación de las obras de conducción/canales, y la ejecución de escenarios de cambio climático y desarrollo de recursos hídricos. Idealmente, se podría mejorar la herramienta de modelación superficial y construir sobre lo ya desarrollado.</p>		

5. Sistema/módulo de apoyo a la fiscalización

Información básica	Tipo de herramienta	Sistema/módulo de apoyo a la fiscalización de actividades ilegales relacionadas a los recursos hídricos.
	Objetivo	El objetivo es entregar a los usuarios una herramienta que les permita desarrollar una labor fiscalizadora del correcto uso de los recursos hídricos disponibles y debidamente asignados mediante el código de aguas vigente, y proteger el patrimonio ambiental de la cuenca reportando actividades contaminantes.
	Descripción	Esta herramienta consiste en un módulo o ficha computacional anexo a la plataforma de información y/o el sistema de visualización (combinación de software y hardware). En términos prácticos consiste en una planilla recopilando información sobre la posible infracción (ubicación, fecha, denunciante, extracción / actividad ilegal, obras no reguladas, vertidos ilegales, acumulación de basura, comentarios, entre otros). Esta planilla almacenaría la denuncia en el sistema y le permitiría al usuario una serie de acciones como: informar, solicitar intervención del organismo de administración local (ej. Organismo de Cuenca / FJVSJ) y/o proceder directamente con la denuncia a la DGA.
	Significancia / utilidad	Esta herramienta permitirá reforzar el monitoreo ciudadano sobre el uso de los recursos hídricos, fomentar la cultura del agua entre los usuarios y la protección del patrimonio ambiental.
	Estado actual	En la actualidad no existe una herramienta que facilite el proceso de denuncia.
	Cobertura geográfica	El módulo / sistema de apoyo a la fiscalización deberá considerar la cuenca en su totalidad.
	Ejemplos actuales	El Departamento de Fiscalización de la DGA cuenta con herramientas computacionales para gestionar las denuncias.
	Limitaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Reticencia para denunciar por parte de los usuarios. • Garantizar confidencialidad y privacidad del denunciante. • Compatible con la información necesaria para proceder con la denuncia mediante la DGA (Departamento de Fiscalización).
	Insumos / información básica	El sistema / módulo de denuncias requerirá: <ul style="list-style-type: none"> • Información actualizada sobre los derechos de aprovechamiento de aguas (DAA) superficiales y subterráneas. • Identificación del patrimonio ambiental y sitios de interés y/o protegidos.
	Equipamiento necesario	Mínimo ya que reside en la plataforma de información.
Desarrollo	Plazo	6 meses
	Recursos humanos	<ul style="list-style-type: none"> • Analista de sistemas / técnico en computación. • Asistente de proyecto (recopilación y digitalización de DAA).
Operación	Posibles responsables	Organismo de cuenca / Federación de Juntas de Vigilancia de la Sexta Región.
	Capacidades para su operación / mantención	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero de recursos hídricos / Administrador plataforma de información.
	Frecuencia de mantención	Revisión anual del estado de los DAA en la cuenca de Rapel y sus tributarios. Revisión anual de los sitios de interés medioambiental y/o ecológico.
Costos	Inversión	M\$20.000 – M\$40.000
	Operación / mantención	
	Posibles fuentes de financiamiento	Gobierno Regional Presupuesto de los Servicios Públicos relevantes Ministerio de Obras Públicas

		Dirección General de Aguas Ministerio del Medio Ambiente
Impacto	Principales usuarios / beneficiarios	Usuarios del agua en la región y comunidad en general. Organismos del estado con roles fiscalizadores de los recursos hídricos en la cuenca del Río Rapel.
Observaciones		

6. Modelación participativa

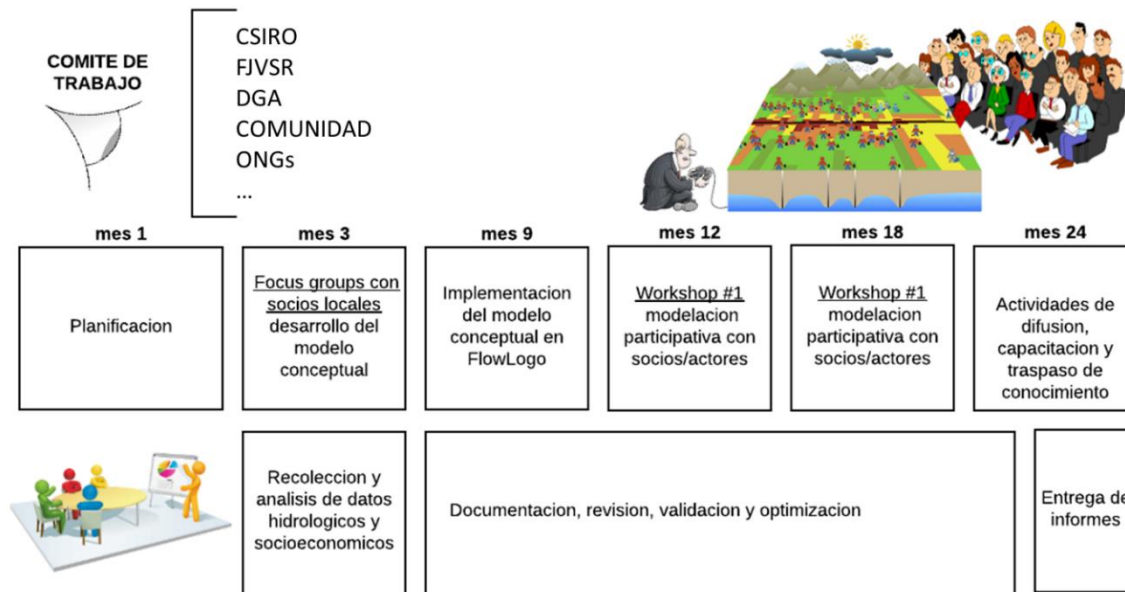


Figura 70. Ejemplo de modelación participativa utilizando la herramienta FlowLogo desarrollada por CSIRO.

Información básica	Tipo de herramienta	Modelación participativa de la toma de decisiones.
	Objetivo	El objetivo de esta herramienta es transparentar la toma de decisiones, apoyar la participación de las partes interesadas y fortalecer la gobernanza del agua para apoyar la gestión de recursos hídricos.
	Descripción	Esta herramienta corresponde a la personalización del software FlowLogo a la realidad hídrico-social de la cuenca del Río Rapel. Este paquete computacional es de libre acceso (no propietario) y sería implementado dependiendo de la información disponible y las necesidades de participación y de apropiación de potenciales medidas identificadas para fortalecer la GIRH. Esta herramienta se puede desarrollar desde una perspectiva básica; como parte de la plataforma de información o desde una perspectiva completa, como una herramienta individual y completa. En el contexto de este estudio se sugiere que se implemente como parte de la plataforma de información para apoyar la toma de decisiones.
	Significancia / utilidad	Esta herramienta permitirá transparentar la toma de decisiones relacionadas a la gestión de recursos hídricos, visualizar los impactos potenciales de las decisiones sectoriales, fomentar la cultura del agua y la apropiación de medidas de gestión por parte de la comunidad en general e identificar los factores de impacto requeridos para el Sistema de Apoyo a la Toma de Decisiones (SATD). En la práctica, esta herramienta permite identificar los principales 'trade-offs' a ser considerados en el SATD para fomentar y transparentar la gobernanza del agua.
	Estado actual	En la actualidad no existe una herramienta que cumpla esta finalidad en la cuenca.

	Cobertura geográfica	Cuenca del Río Rapel y sus tributarios.
	Ejemplos actuales	Ejemplos aplicados sobre modelación participativa en recursos naturales son abundantes en la literatura internacional (Robles Morua et al., 2014; Hare, 2011; Voinov and Busquet, 2010), sin embargo, existe limitada o nula experiencia en Chile. CSIRO está impulsando el uso de FlowLogo como herramienta facilitadora de la gobernanza.
	Limitaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de participación de los actores locales. • Falta de representatividad de los actores locales y poca legitimidad de las decisiones alcanzadas durante la modelación participativa. • Falta de experiencia en la modelación participativa y desconocimiento de la metodología.
	Insumos / información básica	Las fases de desarrollo de esta herramienta serían: a) recopilación de antecedentes y descripción de la línea base; b) diseño conceptual del modelo hídrico-social de la cuenca del Río Rapel; c) implementación del modelo hídrico-social en FlowLogo; desarrollo e implementación de modelación participativa a través de simulación de escenarios; capacitación y traspaso de conocimiento.
	Equipamiento necesario	El desarrollo de esta herramienta requiere del desarrollo de una serie de talleres participativos presenciales con los actores clave de la cuenca. A su vez, se necesitará contar con equipo computacional, elementos de despliegue (proyector) e instalación para la realización de los talleres participativos. No existe requerimiento de software ya que FlowLogo es una herramienta de código abierto (gratuita) desarrollada por CSIRO.
Desarrollo	Plazo	18 meses
	Recursos humanos	Los recursos humanos requeridos corresponderían a: <ul style="list-style-type: none"> • Experto en modelación participativa. • Experto en gestión de recursos hídricos. • Experto local con conocimiento del sistema hídrico-social. • Asistentes de investigación.
Operación	Posibles responsables	Dirección General de Aguas/Federación de Juntas de Vigilancia Sexta Región.
	Capacidades para su operación / mantención	
	Frecuencia de mantención	
Costos	Inversión	M\$200.000
	Operación / mantención	No se anticipan costos de O&M ya que la aplicación sería ocasional y no regular en el tiempo. Sin embargo, diferentes talleres pueden ser ejecutados para distintos actores y/o sectores interesados.
	Posibles fuentes de financiamiento	Gobierno Regional Organismo de Cuenca (eventualmente) Ministerio de Obras Públicas Dirección General de Aguas Ministerio de Agricultura Usuarios Privados
Impacto	Principales usuarios / beneficiarios	Principales beneficiarios corresponden a los usuarios de agua y los gestores de recursos hídricos (ej. DGA, FJVSR)
Observaciones Esta herramienta es una pieza clave para socializar los alcances de las medidas a implementar como parte de un plan GIRH. A través de la modelación participativa los nexos entre los distintos actores, así como los diferentes compromisos (trade-offs) entre estos se hacen explícitos y cada parte puede visualizar el impacto de sus decisiones sobre otros actores. El desarrollo de esta herramienta facilita la internalización y apropiación de las medidas		

adoptadas por parte de la comunidad en general fomentando la cultura del agua y el cumplimiento de la normativa vigente.

7. Sistema de apoyo a la toma de decisiones (SATD)

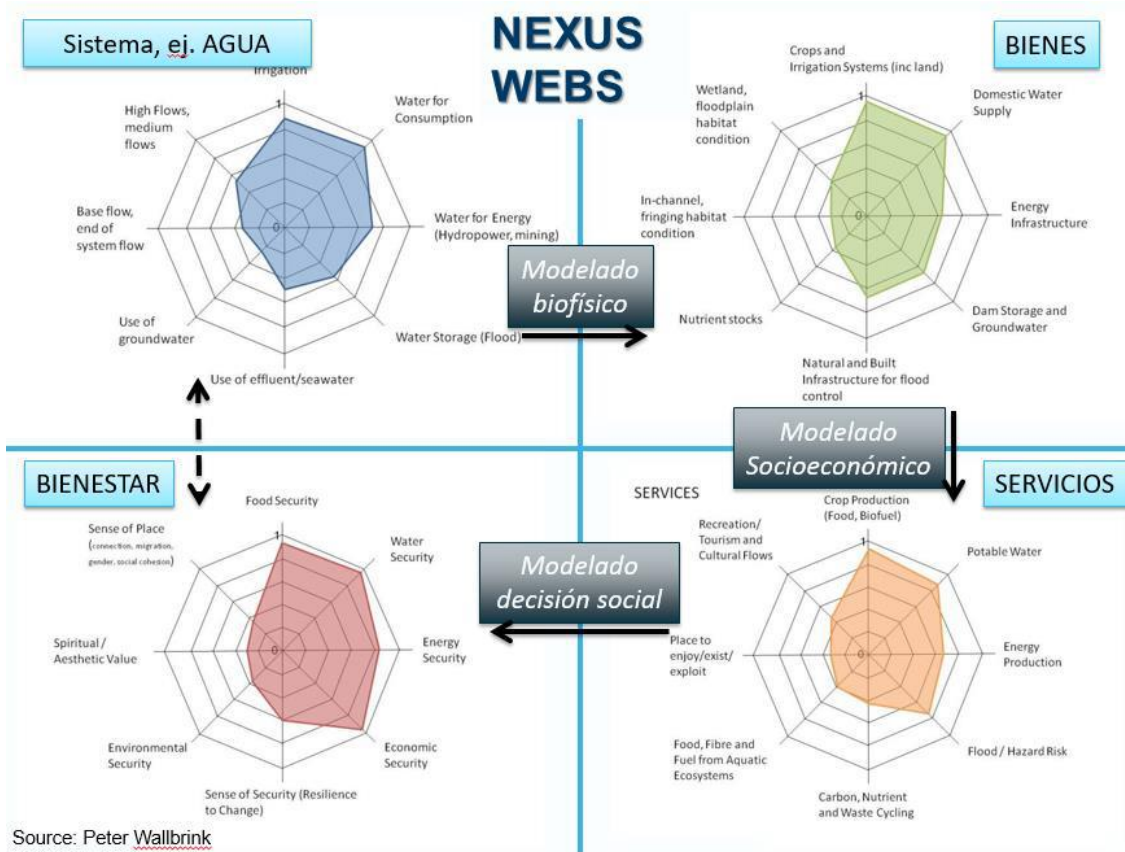


Figura 71. Nexus Webs, CSIRO: ejemplo de sistema de apoyo a la toma de decisiones.

Información básica	Tipo de herramienta	Sistema de Apoyo a la Toma de Decisiones (SATD).
	Objetivo	El objetivo de esta herramienta es apoyar la toma de decisiones por parte de las partes interesadas en la gestión de recursos hídricos mediante la evaluación de diversas alternativas de desarrollo hídrico, escenarios socioeconómicos, y compromisos entre los distintos sectores productivos presentes en la cuenca.
	Descripción	<p>Esta herramienta consiste en un paquete computacional (combinación de software y hardware) que permite la visualización de los distintos trade-offs que existen producto de distintos escenarios de desarrollo en la cuenca del Río Rapel. La herramienta permitirá cuantificar la seguridad hídrica para distintos sectores productivos después de la materialización de obras de regulación, construcción de canales, expansión de áreas de riego y frente a escenarios climáticos. Estos trade-offs se evaluarán desde un punto de vista social, económico y medioambiental.</p> <p>Esta herramienta se alimenta de escenarios de desarrollo hídrico previamente ejecutados y almacenados en la plataforma de información para su posterior despliegue en el visualizador gráfico / SIG. Esta herramienta reside en la PI y se accede a ella través del visualizador gráfico / interfaz de usuarios.</p> <p>A su vez esta herramienta deberá ser capaz de desplegar los compromisos (trade-offs) entre los distintos sectores de manera amigable y digerible por parte de las partes interesadas. Aquí el uso de la metodología Nexus</p>

		Webs desarrollada por CSIRO se presenta como una excelente oportunidad para comunicar los resultados.
	Significancia / utilidad	Esta herramienta promueve la gestión de los recursos hídricos de manera transparente e informada. Cada parte interesada es capaz de visualizar los impactos que produce y recibe su respectivo sector productivo. Esta herramienta representa la base para la implementación de una gestión integrada de los recursos hídricos en la cuenca del Río Rapel. El nivel de toma de decisión se presenta en distintos niveles desde un organismo regulador / fiscalizador a un nivel desagregado de usuario de aguas (por ejemplo, regantes).
	Estado actual	En la actualidad no existe una herramienta de apoyo a la toma de decisiones ni un modelo hidro-económico para la cuenca de Rapel.
	Cobertura geográfica	La cuenca de Rapel y sus tributarios.
	Ejemplos actuales	Existen numerosos ejemplos en la literatura internacional.
	Limitaciones	Las principales limitaciones de la herramienta son: <ul style="list-style-type: none"> • Calidad de las bases de datos alimentando el proceso de toma de decisiones. • Falta de participación de las partes interesadas en el proceso de toma de decisiones.
	Insumos / información básica	<ul style="list-style-type: none"> • El desarrollo de esta herramienta necesita la implementación de las herramientas definidas anteriormente ya que estas definen en su conjunto el SATD: a) una base de datos/cocimiento resumiendo la información disponible sobre los recursos hídricos en la región; b) una interfaz que permita la visualización de los impactos, decisiones, y/o estado de los recursos hídricos, c) modelos y herramientas de análisis; y d) un marco de evaluación socio-económica. • En general se anticipa que el desarrollo de esta herramienta requerirá la definición de los elementos primordiales para los actores clave en términos de desarrollo hídrico. Por ejemplo, para ciertos sectores productivos, la aseguración del caudal ecológico será una prioridad, mientras que otros sectores productivos buscarán maximizar la seguridad de riego y por ende la producción. Por lo tanto, se prevé un proceso participativo donde indicadores de impacto deberán ser definidos mediante la herramienta de modelación participativa. Bajo este contexto, la implementación de esta herramienta requiere el desarrollo e implementación de un modelo hidro-económico de la cuenca de Rapel. Este modelo permitirá evaluar los distintos escenarios de desarrollo hídrico en términos de beneficios económicos y sociales.
	Equipamiento necesario	<ul style="list-style-type: none"> • El SATD debe estar basado en un software flexible, abierto para apoyar e introducir cambios, que permita la inclusión de nueva tecnología de comunicaciones. • El proveedor del software o paquete seleccionado debe ser capaz de proveer soporte técnico continuo y de largo-plazo. • En general, la implementación de las herramientas anteriores facilitará
Desarrollo	Plazo	30 - 36 meses
	Recursos humanos	<ul style="list-style-type: none"> • Experto en Sistemas de Apoyo a la Toma de Decisión / Ingeniero Hidráulico. • Experto en Manejo Integrado de Recursos Hídricos. • Experto en Modelación Integrada de Recursos Hídricos. • Ingeniero en Computación. • Analista de sistemas / programados.

		<ul style="list-style-type: none"> • Economista / Experto recursos naturales. • Experto SIG / Geógrafo / Cartógrafo. • Asistentes de proyecto.
Operación	Posibles responsables	Organismo de Cuenca / Federación de Juntas de Vigilancia Sexta Región.
	Capacidades para su operación / mantención	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel apropiado de conocimiento sobre GIRH en el organismo responsable de su operación y fuertes lazos con los usuarios y organismos reguladores. • Responsabilidades y estructura orgánica del equipo responsable claramente definidas. • Soporte IT. • Equipo de comunicación para garantizar la transparencia, difusión y participación de todas las partes interesadas.
	Frecuencia de mantención	<p>Los componentes del SATD (bases de datos, modelos, protocolos de comunicaciones, indicadores de impacto, etc.) deberán ser revisados de manera periódica para su validación. Se sugiere:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bases de datos: Anual. 2. Modelos: post-audit (dos a cinco años). 3. Protocolos de comunicación: primer y segundo año: trimestral; tercer a quinto año: semestral; anual. 4. Indicadores de impacto: anual
Costos	Inversión	M\$1.000.000 – M\$1.200.000 (lo que incluye, también, el costo para el desarrollo de la plataforma de información y la modelación integrada).
	Operación / mantención	
	Posibles fuentes de financiamiento	Gobierno Regional con aporte del sector Privado
Impacto	Principales usuarios / beneficiarios	Esta herramienta beneficia a los usuarios directos e indirectos de las aguas de la cuenca Rapel, así como también a los organismos del Estado encargados de gestionar los recursos hídricos en la cuenca de Rapel.
<p>Observaciones Se ha propuesto un SATD como una herramienta individual. Sin embargo, esta herramienta es la suma de la implementación de algunas de las herramientas previamente descritas: Base de conocimiento-datos, herramientas de modelación integrada, modelo de pronóstico de caudales, visualizador gráfico, modelación participativa.</p>		

Anexo B

B.1 Funciones y reglas del Grupo Asesor

La composición del Grupo Asesor (GA) responde a los siguientes criterios:

- ✓ es un órgano técnico (no político),
- ✓ incluye a los principales usuarios del recurso en la cuenca, e
- ✓ incluye instituciones públicas, privadas y de la sociedad civil, que toman decisiones relevantes respecto de la gestión del recurso hídrico.

Las reuniones son coordinadas y facilitadas por el Equipo Profesional del proyecto, quien recibe apoyo, ambos técnico y logístico, de la DGA. La idea es que el GA acompañe la ejecución del proyecto y cumpla los siguientes propósitos:

- ✓ Aportar con información y conocimientos relevantes sobre la gestión de los recursos hídricos en la CRR.
- ✓ Apoyar la toma de decisiones en materias técnicas propias del proyecto, con los insumos relevantes aportados por los miembros del GA.
- ✓ Orientar estratégicamente la ejecución del proyecto de modo de contribuir a avanzar hacia la implementación de herramientas apropiadas para la gestión sustentable de recursos hídricos en la CRR.
- ✓ Asegurar el cumplimiento de los objetivos y revisar los resultados preliminares, con la flexibilidad para adaptarse a las necesidades y cambios siguiendo el desarrollo del proyecto.

Principios para la operación del proceso participativo

Con el fin de promover la efectividad y la eficiencia de las instancias participativas se propuso que el GA funcione de acuerdo con las siguientes reglas/prácticas específicas:

- **¿Quiénes definen y aprueban estas reglas?** Serán los propios participantes quienes revisarán y aprobarán estas reglas.
- **Nuevos miembros en el Grupo.** El Equipo Profesional del proyecto o algún miembro del GA podrá sugerir la entrada de un nuevo participante. Esta proposición deberá ser discutida y aprobada por una mayoría de miembros del Grupo.
- **¿Cómo se llevarán a cabo las reuniones?** Las citaciones a reuniones incluirán una agenda sugerida. En la medida que sea necesario se enviarán documentos con anticipación, para que los participantes los revisen previo a la reunión. Las reuniones serán facilitadas por el Equipo Profesional y apoyadas por la DGA; la facilitación supone velar por que las reuniones sean constructivas, cubran los contenidos acordados, garanticen una participación equilibrada de los participantes y, en suma, cumplan los objetivos de un modo eficiente y efectivo. Luego de cada reunión se enviará una breve acta/minuta, la cual se concentrará en las acciones y compromisos acordados. Estas actas/minutas podrán ser examinadas por los participantes y revisadas en la reunión siguiente.
- **¿Cómo se revisan y aprueban documentos/decisiones?** En general los documentos (propuestas, agendas de trabajo de talleres, informes parciales, informes finales, etc.) serán enviados con anticipación a las reuniones y se contará con un plazo de tiempo razonable para recibir comentarios. Se asumirá que quienes no envíen comentarios a tiempo, aprueban el documento en cuestión y no tienen mayores reparos ni observaciones.

- **¿Cómo se toman decisiones?** Se privilegiará la toma de decisiones por consenso; es decir, que no haya miembros del GA que disienten sobre una decisión. Esto no quiere decir que cada miembro apoya una decisión con el mismo nivel de entusiasmo, pero sí que están de acuerdo que se siga adelante con una decisión específica. La regla general para tomar decisiones será: i) reunir y discutir los hechos y argumentos relevantes, ii) explorar posibilidades de acción/decisión, iii) acordar criterios relevantes para tomar la decisión, y iv) tomar la decisión y elaborar un plan de acción satisfactorio.
- **¿Y si hay diferencias significativas?** El Equipo Profesional del proyecto será el coordinador del GA. En caso de diferencias entre los participantes, el Equipo Profesional podrá, excepcionalmente, llamar a votación para llegar a una decisión, pero esta acción debería ser utilizada solamente como una medida de último recurso. En ninguna circunstancia los miembros invitados al GA tendrán derecho a voto.
- **La representación en las reuniones.** Los miembros del GA, en caso de no poder asistir a una reunión, podrán enviar algún representante, previo aviso al Equipo Profesional del proyecto.
- **La confidencialidad.** El proyecto buscará el máximo de transparencia en su realización y resultados. No obstante, los miembros del GA podrán acordar algún grado de confidencialidad para ciertas materias/documentos que a su juicio lo ameriten.

B.2 Gobernanza: casos revisados

Chile

To provide some context, and to allow for easier comparison between the Rapel Basin and our selected case studies, we begin this section of our report with an overview of the water governance situation in Chile.

Chile is a country which is characterised by variable precipitation, with (in general) lower annual average precipitation occurring in arid north and the semi-arid central regions (where most of the population is located) compared to the south where water is more abundant.⁵⁴ Most rivers in Chile flow from east to west and are short, steeply graded and torrential, making them well-suited to hydropower generation.⁵⁵ One such dam on the Rapel River, which creates a large reservoir (with a maximum depth of 85m and maximum flood area of 95 km²), is used for hydropower generation.⁵⁶ Runoff volumes in Chile accord with the distribution of precipitation and is thus higher in the south as compared to the north, with northern rivers being principally fed by snowmelt and southern rivers being fed principally by precipitation, and the flow of rivers in the central region, where the Rapel River Basin is located, are influenced by both snow and rain.⁵⁷ Aquifers in Chile tend to be unconfined or semi-confined, with active groundwater-surface water interactions.⁵⁸ The DGA is reportedly aware of the clear importance of groundwater resources in Chile, but south of Santiago there is limited information available about aquifers.⁵⁹

Demand for surface water and for groundwater in Chile, a country with an economy that is largely based on natural resources, has increased over the last few decades with growth of economy and increased rates of social development.⁶⁰ Problems of water availability are generally worse in the arid north, where water demands exceed availability and become increasingly better from the central-south regions (including O'Higgins, where the Rapel basin is located) to the south.⁶¹

Water management in Chile is characterised by a mix of centralised State administration, water user organisations and permanent and transferable individual water rights (Water Rights), which are tradable on a water market.⁶²

Governance objectives

Chile's Water Code of 1981 (WC81) is Chile's foremost regulation governing water use and Water Rights in Chile. It was passed in response to increasing demand for water in Chile in order to promote 'economically efficient water transfers between users', to incentivise 'efficient water use', to 'incorporate market-based allocation mechanisms' and to incentivise private investment.⁶³ The central purpose of WC81 was to

⁵⁴ Rodrigo Valdés-Pineda et al, 'Water governance in Chile: Availability, management and climate change' (2014) 519 *Journal of Hydrology* 2538, 2538-2540.

⁵⁵ Rodrigo Valdés-Pineda et al, 'Water governance in Chile: Availability, management and climate change' (2014) 519 *Journal of Hydrology* 2538, 2540.

⁵⁶ Germán Ibarra, Alberto de la Fuente & Manuel Contreras, 'Effects of hydropeaking on the hydrodynamics of a stratified reservoir: the Rapel Reservoir case study' (2015) 53(6) *Journal of Hydraulic Research* 760.

⁵⁷ Rodrigo Valdés-Pineda et al, 'Water governance in Chile: Availability, management and climate change' (2014) 519 *Journal of Hydrology* 2538, 2540.

⁵⁸ Rodrigo Valdés-Pineda et al, 'Water governance in Chile: Availability, management and climate change' (2014) 519 *Journal of Hydrology* 2538, 2541.

⁵⁹ Rodrigo Valdés-Pineda et al, 'Water governance in Chile: Availability, management and climate change' (2014) 519 *Journal of Hydrology* 2538, 2542.

⁶⁰ Rodrigo Valdés-Pineda et al, 'Water governance in Chile: Availability, management and climate change' (2014) 519 *Journal of Hydrology* 2538, 2544.

⁶¹ Rodrigo Valdés-Pineda et al, 'Water governance in Chile: Availability, management and climate change' (2014) 519 *Journal of Hydrology* 2538, 2544-2546.

⁶² Alejandro Vergara and Daniela Rivera, 'Legal and Institutional Framework of Water Resources' in Guillermo Donoso (ed) *Water Policy in Chile* (Springer, 2018) <<https://www.springer.com/gp/book/9783319767017>>

⁶³ Humberto Peña, 'Integrated Water Resources Management in Chile: Advances and Challenges' in 'Legal and Institutional Framework of Water Resources' in Guillermo Donoso (ed) *Water Policy in Chile* (Springer, 2018) 199.

introduce markets that would result in water being transferred from lower to higher value activities and also delegate information collection to private users.⁶⁴

The pre-cursor to WC81, the Decree Law No° 2603 of 1979, separated water rights from land ownership for the first time in Chile.⁶⁵ In 2005, WC81 was amended to (amongst other things) introduce a non-use fee for surface water users and define minimum ecological flows.⁶⁶

According to Guillermo Donoso, Chile's 1999 water policy provides the implementation of integrated water resource management (IWRM) as one of its goals, but, as discussed by Donoso, various obstacles related to the institutional and legal framework have prevented the 'decided adoption' of IWRM in Chile to-date.⁶⁷

Governance institutions and designs

As introduced above, Chile's water governance system operates as a market-based system with allocated private water usage rights. According to some commentators, the transition to this system since the introduction of WC81 has led to 'severe problems of accumulation and concentration of water rights with specific actors', and, in some catchments, this has been attributed to over-exploitation of water resources.⁶⁸

The WC81 regularised customary water rights and also allows water users to apply for new Water Rights by application.⁶⁹ Provided that there is sufficient 'water availability' in the requested water source, the Water Rights will be granted free of charge. However, in instances where there are competing applications for Water Rights in a water source, an auction process is undertaken and the rights are awarded to the highest bidder.⁷⁰ Water Rights allocated in Chile are categorised as consumptive or non-consumptive (non-consumptive users are required to return water), permanent or contingent (permanent users have priority over contingent users), and continuous or discontinuous (discontinuous users may only extract within specified time periods).⁷¹

The central institution with responsibility for water governance in Chile is the Ministry of Public Works (*Ministerio de Obras Públicas*), and under it the DGA (*Dirección de General de Aguas*).⁷² According to Alejandro Vergara and Daniela Rivera, the main roles of the State in water resource management are:

1. The constitution of Water Rights.
2. Measurement and determination of water resources availability.
3. Generation and maintenance of the necessary water resources and Water Rights information.
4. Regulation of water resource use avoiding third party effects and their overexploitation.

⁶⁴ Tomás J. Usón, Cristián Henríquez and Juliane Dame, 'Disputed water: Competing knowledge and power asymmetries in the Yali Alto basin, Chile' (2017) 85 *Geoforum* 247, 251, citing G Donoso, 'Water markets: case study of Chile's 1981 Water Code' (2006) 33(2) *Ciencia E Investigación Agraria* 157.

⁶⁵ Rodrigo Valdés-Pineda et al, 'Water governance in Chile: Availability, management and climate change' (2014) 519 *Journal of Hydrology* 2538, 2551.

⁶⁶ Rodrigo Valdés-Pineda et al, 'Water governance in Chile: Availability, management and climate change' (2014) 519 *Journal of Hydrology* 2538, 2551.

⁶⁷ Guillermo Donoso, 'Integrated water management in Chile' in Pedro Martínez-Santos, Maite M. Aldaya, and M. Ramón Llamas (eds) *Integrated Water Resources Management in the 21st Century: Revisiting the Paradigm* (CRC Press, 2014).

⁶⁸ Tomás J. Usón, Cristián Henríquez and Juliane Dame, 'Disputed water: Competing knowledge and power asymmetries in the Yali Alto basin, Chile' (2017) 85 *Geoforum* 247, 248.

⁶⁹ Alejandro Vergara and Daniela Rivera, 'Legal and Institutional Framework of Water Resources' in Guillermo Donoso (ed) *Water Policy in Chile* (Springer, 2018) 73-74.

⁷⁰ Alejandro Vergara and Daniela Rivera, 'Legal and Institutional Framework of Water Resources' in Guillermo Donoso (ed) *Water Policy in Chile* (Springer, 2018) 74.

⁷¹ Alejandro Vergara and Daniela Rivera, 'Legal and Institutional Framework of Water Resources' in Guillermo Donoso (ed) *Water Policy in Chile* (Springer, 2018) 73.,

⁷² Rodrigo Valdés-Pineda et al, 'Water governance in Chile: Availability, management and climate change' (2014) 519 *Journal of Hydrology* 2538, 2552.

5. Conservation and protection of water resources and ecosystems (by means of environmental impact assessment and environmental policies).⁷³

There are also other State institutions in Chile which have complementary or competing functions.⁷⁴ These include the Waterworks Directorate (DOH) and the National Irrigation Commission (CNR) of the Ministry of Agriculture (MINAGRI) and its associated Council of Ministers. The fragmented and overlapping nature of the State's water governance institutions has been the subject of criticism for problems with coordination and funding,⁷⁵ and the World Bank assessment reportedly concluded that Chile's centralised water governance 'evidenced low performance' owing to the limited role of DGA, lack of coordination, deficiency in strategic planning and monitoring, issues associated with producing and sharing information, lack of participatory instruments and insufficient budgeting.⁷⁶

Under the WC81, responsibility for water management, administration, and distribution is delegated to Water User Associations (WUA) which are made up of Water Rights holders.⁷⁷ The main responsibility of the WUAs is distributing water resources between water users (including, during drought, doing so proportionately to the volume of Water Rights held by each user).⁷⁸ Responsibilities also include (depending on the type of WUA) management, maintenance and renovation of channels, generation of hydrological information, surveillance and monitoring, enforcement and the application of sanctions.⁷⁹ We understand that CSIRO's Rapel Basin Project aims to build an integrated management plan that would operate at this level of governance. Unlike water markets and the decoupling of water rights from land, the management of water by local users is not new but has occurred in Chile since the colonial era.⁸⁰ WUAs, of which there are three types under the WC81,⁸¹ are made up of two or more Water Rights holders who effectively share a water source (in the case of the first two categories) or of all water users (in the case of the third category). According to Vergara and Rivera, an 'important proportion' of WUAs do not meet all eight of Elinor Ostrom's design principles institutions that successfully manage common pool resources.⁸² Citing Vergara et al 2013, they state that there are seven main difficulties that confront WUAs include lack of adequate professional

⁷³ Alejandro Vergara and Daniela Rivera, 'Legal and Institutional Framework of Water Resources' in Guillermo Donoso (ed) *Water Policy in Chile* (Springer, 2018) 78-79.

⁷⁴ Alejandro Vergara and Daniela Rivera, 'Legal and Institutional Framework of Water Resources' in Guillermo Donoso (ed) *Water Policy in Chile* (Springer, 2018) 79.

⁷⁵ Rodrigo Valdés-Pineda et al, 'Water governance in Chile: Availability, management and climate change' (2014) 519 *Journal of Hydrology* 2538, 2561.

⁷⁶ Alejandro Vergara and Daniela Rivera, 'Legal and Institutional Framework of Water Resources' in Guillermo Donoso (ed) *Water Policy in Chile* (Springer, 2018) 79 citing World Bank, *Estudio para el mejoramiento del marco institucional para la gestión del agua* (2013, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas de Chile).

⁷⁷ Alejandro Vergara and Daniela Rivera, 'Legal and Institutional Framework of Water Resources' in Guillermo Donoso (ed) *Water Policy in Chile* (Springer, 2018) 80.

⁷⁸ ⁷⁸ Guillermo Donoso, 'Integrated water management in Chile' in Pedro Martínez-Santos, Maite M. Aldaya, and M. Ramón Llamas (eds) *Integrated Water Resources Management in the 21st Century: Revisiting the Paradigm* (CRC Press, 2014) 224.

⁷⁹ Guillermo Donoso, 'Integrated water management in Chile' in Pedro Martínez-Santos, Maite M. Aldaya, and M. Ramón Llamas (eds) *Integrated Water Resources Management in the 21st Century: Revisiting the Paradigm* (CRC Press, 2014) 225.

⁸⁰ Alejandro Vergara and Daniela Rivera, 'Legal and Institutional Framework of Water Resources' in Guillermo Donoso (ed) *Water Policy in Chile* (Springer, 2018) 80 citing O Melo & MR Retamal, 'The water users organizations in Chile' (2012) *Chile: Environmental, Political and Social Issues*, pp 1-32.

⁸¹ The three types are: water communities (comunidades de aguas), channel user associations (asociaciones de canalistas) and vigilance committees (juntas de vigilancia): Alejandro Vergara and Daniela Rivera, 'Legal and Institutional Framework of Water Resources' in Guillermo Donoso (ed) *Water Policy in Chile* (Springer, 2018) 80.

⁸² Alejandro Vergara and Daniela Rivera, 'Legal and Institutional Framework of Water Resources' in Guillermo Donoso (ed) *Water Policy in Chile* (Springer, 2018) 80

management, insufficient budgets, strong administrative presence in basins with hydraulic works (including, we assume, the Rapel reservoir), and lack of integration of all water users in WUAs.⁸³

Capacities to deliver governance objectives

The Chilean water governance regime has also been criticised by Valdés-Pineda et al for not currently being capable of prioritising different water uses on that basis that this leads to conflict between private industry and local communities.⁸⁴ They state that the water market favours those with greater resources (to obtain Water Rights) and is thus inefficient and inequitable.

As stated briefly above, the 2005 amendments to the WC81 introduced a fee for non-use of water rights. Valenzuela, Fuster and León examined the effectiveness of this fee and concluded that it has not been effective at discouraging non-use of water because Water Rights holders prefer to pay the fee rather than to forfeit their rights (as the market price exceeds the fee).⁸⁵

Australia – New South Wales

Australia's water management underwent a transition during the late 1800s and early 1900s when common law water rights were replaced by state legislative regimes forming a system of water licensing.⁸⁶ However, significant weaknesses in Australia's water regulation began to emerge by the end of the last century. In particular, state governments were granting many new water licences to irrigators and others, with generous extraction allocations attached.⁸⁷ Under these arrangements surface water and groundwater resources were generally managed separately⁸⁸ and, with persistent and frequent droughts, fears of over-allocation and severe water shortages emerged. This crisis motivated state and federal governments to come together and collaboratively address accelerating degradation of water sources.⁸⁹ The result was a new national water management regime, the National Water Initiative (NWI), introduced in 2004. The NWI entails a hybrid system of governance with top-down regulation (hierarchy), water trading and pricing (markets), and water planning developed with stakeholder cooperation (collaborative governance).⁹⁰

The NWI provides a framework for how each state and territory is to improve trade in both surface and groundwater markets. The states and territories are required to progressively remove barriers to water trading on an open market, develop water accounting to meet the needs of different water systems for planning, monitoring and trading, and recognise the connectivity between surface and groundwater resources.⁹¹ Associated with the NWI was a Commonwealth funding program worth \$12.6 billion AUD nationally.⁹²

⁸³ Alejandro Vergara and Daniela Rivera, 'Legal and Institutional Framework of Water Resources' in Guillermo Donoso (ed) *Water Policy in Chile* (Springer, 2018) 80-81 citing A Vergara et al, *Aguas y energía: propuestas para su autogobierno y resolución especializada de conflictos*, Propuestas para Chile Concurso Políticas Públicas (Centro de Políticas Públicas, 2013) pp 241-270.

⁸⁴ Rodrigo Valdés-Pineda et al, 'Water governance in Chile: Availability, management and climate change' (2014) 519 *Journal of Hydrology* 2538, 2562. See also Tomás J. Usón, Cristián Henríquez and Juliane Dame, 'Disputed water: Competing knowledge and power asymmetries in the Yali Alto basin, Chile' (2017) 85 *Geoforum* 247, which proffers that the way in which scientific knowledge of water is legitimised and given preference above local knowledge of water creates power imbalances between private industry and local communities in the Yali Alto basin (which neighbours the Rapel Basin).

⁸⁵ Christian Valenzuela, Rodrigo Fuster and Alejandro León, 'Chile: is the fee for non-use of water rights effective?' (2013) 109 *CEPAL Review* 163.

⁸⁶ Gardner A, Bartlett R, Gray J (2009) *Water resources law*, LexisNexis, Chatswood

⁸⁷ See Bricknell S (2010) *Environmental Crime in Australia*, Australian Institute of Criminology, and Gray J (2009) *Water Resources Law*, LexisNexis.

⁸⁸ Ross A (2012b) *Water connecting people adapting*. PhD dissertation, Australian National University

⁸⁹ Godden L, Foerster A (2011) Introduction: institutional transitions and water law governance. *J Water Law* 22:53-57

⁹⁰ Hussey K and Dovers S (eds) (2007) *Managing Water for Australia*, CSIRO.

⁹¹ Crase L (2008) 'An introduction to Australian water policy' in Crase L (ed) *Water policy in Australia: the impact of change and uncertainty*. Resources for the Future, Washington, DC.

⁹² Alex Gardner et al, *Water Resources Law* (2018, 2nd ed, LexisNexis Butterworths) 55.

Collaborative planning is central to the pursuit of water management in Australia and is the primary instrument for achieving collective action between governments and water users. As such, NWI principles include consultation with stakeholders and the adaptive management of surface water and groundwater systems (IANWI, paras 23(x), 25(iv), Schedule E, 5(ii), 6(i)). Individual state jurisdictions have considerable flexibility in how they implement the NWI.⁹³ In practice, however, water plans commonly contain: rules for water allocation; rules for transferring water entitlements or allocations; environmental outcomes; limits on extraction in certain places or at certain times; and monitoring and reporting requirements.⁹⁴

Governance objectives

In New South Wales, home to the “lion’s share” of the Murray Darling Basin, the objectives of the NWI have been pursued through the creation and implementation of Water Sharing Plans (WSPs).⁹⁵ These are area-based plans⁹⁶ that were to be developed via community and government partnerships⁹⁷ and “consensus” decision-making by collaborative committees.⁹⁸ The plan was to deliver sustainable water use in agricultural areas by allocating entitlements to water and establishing a water trading mechanism. In New South Wales, WSPs are given legislative force under the *Water Management Act 2000 (NSW)*.⁹⁹ Most New South Wales WSPs take the form of “Minister’s Plans” rather than as a result of a formal collaborative committee process.¹⁰⁰ In making the WSP, the Minister has the power to set up advisory or other committees for the purposes of the *Water Management Act* and, as shown below, this was used in lieu of a more formal collaborative committee route.¹¹² The net effect is to “front load” participatory decision-making during the development of the plan itself, with limited scope for participation beyond the initial water planning stage.

Governance institutions and designs

Water governance in NSW has undergone substantial institution and legislative evolution since the introduction of the NWI. Until recently, water management had been governed by two pieces of legislation, the *Water Act 1912 (NSW)* and the *Water Management Act 2000 (NSW)*. These Acts regulated landholders across NSW. These are primarily farmers (from the smallest individual or family farm enterprise to large operations owned by multinational companies, and which are involved in various agricultural activities — including grazing, dairying, fruit and vegetable production and cropping — and using different quantities of water) and engaged in irrigation (including groundwater and surface water irrigation). Beyond farmers, mining (particularly coal) companies are the other major users of water. While the policy environment regarding certain types of mining (such as coal seam gas) is in transition, mining companies are generally required to have a license to extract groundwater when under the *Water Management Act*.¹⁰¹

⁹³ Tan PL, Bowmer K, Baldwin C (2012) Continued challenges in the policy and legal framework for collaborative water planning. *J Hydrol* 474:84–91

⁹⁴ Gray J (2012) The legal framework for water trading in the Murray-Darling Basin: an overwhelming success? *Environ Plan Law J* 29:328–349

⁹⁵ This planning process emerged as a part of wider national water reforms in Australia. See National Water Commission, *The National Water Initiative – Securing Australia’s Water Future: 2011 Assessment* (Australian Government, 2011).

⁹⁶ *Water Management Act 2000 (NSW)*, s 11.

⁹⁷ *Water Management Act 2000 (NSW)*, s 3(d).

⁹⁸ *Water Management Act 2000 (NSW)*, ss 12, 13, 14(a), 15, Sch 6, cl 12.

⁹⁹ *Water Management Act 2000 (NSW)*, s 41. Gardner et al, above, pp 295-296.

¹⁰⁰ For an overview of collaborative committees, see Smith JVS and Lyster R, (2002) “Water Management Committees, Emerging Issues of Water Resource Assessment and Sustainability in New South Wales” (Water Challenge: Balancing the Risks, *Hydrology and Water Resources Symposium 2002*, Institution of Engineers, Barton, pages 276-283.

¹⁰¹ Department of Planning and Infrastructure, *Strategic Regional Land Use Policy* (NSW Government, 2012); DPI-- NSW Office of Water, *NSW Aquifer Interference Policy* (2012); *Water Management Act 2000 (NSW)* s 91.

The *Water Management Act* oversees water resource management through the allocation and operation of water licenses under a series of WSPs applying to discrete geographical regions.¹⁰² Prior to the introduction of the *Water Management Act*, the *Water Act* applied across all of NSW. It was superseded by the *Water Management Act*, at least where WSPs have been put in place.¹⁰³ Licenses under the *Water Act* are generally tied to the land, whereas there are tradable water access licenses under the *WMA*. Another general difference is that in contrast to the *Water Act*,¹⁰⁴ the *Water Management Act* provides a detailed regime of regional water caps and individually tradable water entitlements and allocations.¹⁰⁵ A 2005 funding agreement between the Commonwealth and New South Wales facilitated the payment of compensation to water entitlement holders whose rights were reduced under the new regime.¹⁰⁶ Under the *Water Management Act*, the Minister has power to impose fees and charges.¹⁰⁷ In practice, most licence holders (including utilities ie urban water suppliers) are charged fees based on their annual water usage.¹⁰⁸ As more WSPs come on stream, the *Water Management Act* will incrementally replace the *Water Act*. Although more licenses are contained under the *Water Act*, licenses under the *Water Management Act* account for over 95 per cent of water extracted in NSW.¹⁰⁹

In terms of institutions governing water management, the NSW government recently established a new water regulator, the National Resources Access Regulator (NRAR), under the *Natural Resources Access Regulator Act 2017*, which has taken over the role of compliance and enforcement from the previous institutions, Water NSW and the Department of Industry. This was in response to recognized regulatory failures by the previous institutions.

Capacities to deliver governance objectives

To examine the capacities to deliver governance objectives, we illustrate the application of the *Water Management Act* and the planning process in NSW by focusing on a specific WSP zone in the Namoi Valley, subject to the *Water Sharing Plan for the Upper and Lower Namoi Groundwater Sources 2003* (covering 13 zones in total).¹¹⁰ Smaller irrigators dominated the chosen zone. Other major stakeholders engaged in the WSP consultation process were a government department for water (known as the New South Wales Office of Water), the Namoi Catchment Management Authority (CMA), a number of local councils and other property holders who did not actively use the groundwater.

The consultation process began a decade ago with the release of a socioeconomic study into the region, followed by some initial consultation meetings in each zone of the Namoi Valley (approximately 42,000 square kilometres in total, containing 100,000 people)¹¹¹ along with a series of related technical studies. With the new *Water Management Act* in place in 2000, a groundwater management committee was established

¹⁰² *Water Management Act 2000* (NSW) ss 11, 19, 41.

¹⁰³ For an up to date list on commenced plans, see NSW Office of Water, *Water Sharing Plans Commenced* (24 October 2012) NSW Department of Primary Industries Office of Water <http://www.water.nsw.gov.au/Water-management/Water-sharing-plans/Plans-commenced/plans_commenced/default.aspx>.

¹⁰⁴ Note: there was provision for limited transferability of water entitlements under the *Water Act 1912* (NSW). For further, see Gardner, Bartlett and Gray, above, 556–9.

¹⁰⁵ NSW Trade and Investment, Regional Infrastructure and Services, *Annual Report 2010–2011* (NSW Government, 2011) 33.

¹⁰⁶ Alex Gardner et al, *Water Resources Law* (2018, 2nd ed, LexisNexis Butterworths) 53. See also *Water Management Act 2000* (NSW) ss 86-87A.

¹⁰⁷ *Water Management Act 2000* (NSW) s 114.

¹⁰⁸ For charges applicable to the 2017-2018 water year (in AUD) see WaterNSW, '2017-2018 Water Pricing', *WaterNSW* (Web Page) <<https://www.watnsw.com.au/customer-service/ordering-trading-and-pricing/pricing/water-pricing#stay>>.

¹⁰⁹ *Ibid*.

¹¹⁰ This encompasses 12 of the 13 upper zones and the entire lower zone of the Namoi. See *Water Sharing Plan for the Upper and Lower Namoi Groundwater Sources 2003* (NSW), cl 4(2).

¹¹¹ Approximately 100,000 people live in the Namoi region.

to cover the Namoi region. The committee included representatives from all the major stakeholder groups highlighted above, and other relevant department and fishing bodies, and had responsibility for developing the draft WSP, which it released in 2002.¹¹² Up to this point there was little direct consultation with stakeholders outside of the committee process.¹¹³ Under the *Water Management Act*, members of management committees are entitled to be remunerated (by the state government) as the Minister determines.¹¹⁴

The WSP was scheduled to begin operation in 2003 and was to be made under s 50 of the *Water Management Act* as a “Minister’s Plan”. As originally enacted, the *Water Management Act* provided that Minister’s Plans were to deal with the same matters as a plan made by a formal management committee.¹¹⁵ However, between 2002 and 2004, s 50 of the *Water Management Act* was amended to require the Minister to deal with these matters only “in general terms” and to exempt Minister’s Plans from complying with certain requirements relating to public consultation.¹¹⁶

As discussed further below, these changes represented one of the first controversies of the implementation of the New South Wales participatory decision-making process, leading to legal challenges to the original plans.¹¹⁷ However, following a change in Minister, the WSP was put on hold while a review of the draft plan was undertaken. This engaged representatives from peak irrigation bodies and addressed in particular the issue of uniform and proportional reductions versus allocation based (at least partially) on “history of use”. In order to execute this policy, the implementation of six groundwater plans was deferred so the department could establish accurate information on the historical rates of extraction for all licensees.¹¹⁸ At this point there was limited consultation beyond peak irrigation and farming bodies.

Subsequently, a new revised WSP was completed in 2005, and was scheduled to commence in 2006. In the interim, another far more comprehensive round of consultation was undertaken with the assistance of the existing stakeholder committee. In contrast to the prior processes, the Namoi CMA, not the New South Wales Office of Water, had carriage of this round of consultation (although the latter did participate). The purported reason was to provide “independence” to the consultation process and avoid any perceived shortcomings of earlier consultations. In terms of impact, the CMA consultation process amended approximately a third of the clauses in the draft WSP. The Minister approved the WSP, with the weighting of allocations favouring active users over inactive users. The WSP came into force on 1 November 2006,¹¹⁹ and terminates on 30 June 2019.¹²⁰

¹¹² Millar I, “Testing the Waters: Legal Challenges to Water Sharing Plans in NSW” (*Water Law in Western Australia Conference*, July 2005) p 9.

¹¹³ The exception being regular annual meetings between the agency responsible for administering the *Water Management Act 2000* (NSW) (now known as the NSW Office of Water) and local “zone” committees comprising irrigator representatives.

¹¹⁴ *Water Management Act 2000* (NSW), Sch 6, cl 4.

¹¹⁵ Millar, above.

¹¹⁶ Millar, above.

¹¹⁷ Millar, above.

¹¹⁸ Gardner et al, above, p 320.

¹¹⁹ In these latter stages the federal and New South Wales government also implemented a structural adjustment package (the Achieving Sustainable Groundwater Entitlements (ASGE) program), which was designed to help groundwater users across the Murray Darling Basin in New South Wales manage the reduction in their entitlements under the water reforms. This included some consultation. See New South Wales Government, *Achieving Sustainable Groundwater Entitlements* (Office of Water, 2011), <http://www.water.nsw.gov.au/Water-management/Water-sharing-plans/Plans-commenced/achieving-sustainable-groundwater-entitlements-program> viewed 26 November 2012.

¹²⁰ The original termination date of the WSP was 30 June 2017. However, under s 43A(6) of the *Water Management Act*, by way of order made in the NSW Government Gazette (Gazette No. 72 of 30 June 2017, p 3476), the Minister extended the WSP until the commencement of a respective replacement management plan or until the second anniversary of the original expiry date of the plan ie 17 June 2019 (whichever occurs first). As at 14 May 2019, a no replacement management plan has been made.

While there were some disagreements over the mechanics of the above consultation process, there were also key differences and disputes over its nature and outcomes. These differing perceptions are fundamental to determining the success of participatory water governance in this instance and reveal ongoing unresolved disputes between the different actors. Although there was, and remains, some tension regarding entitlement reductions,¹²¹ of fundamental relevance to this report were disputes between government and non-government stakeholders. The experiences of our case study zone reveal four key areas of contention, that to different degrees have been reflected across NSW.¹²²

First, those who were involved in the drafting of the initial WSP reportedly felt that they had been misled as to their role in the plan-making process.¹²³ This significant discontent with the process was attributed to the operation of the Minister's Plan provisions and their subsequent amendments (discussed above).¹²⁴ This discontent manifested itself in a number of court challenges,¹²⁵ including the *Upper Namoi Water Users Assn Inc v Minister for Natural Resources* in 2003 [2003] NSWLEC 175.¹²⁶ It was argued in this case, inter alia, that the decision to make a Minister's Plan involved a breach of procedural fairness. As the water users saw it, there was a legitimate expectation that the plan would be prepared by a management committee and be made as a committee-based management plan rather than a Minister's Plan.¹²⁷ However, their views and recommendations (particularly in relation to socioeconomic implications of the plans) were subsequently ignored and not followed, which resulted in unfairness to their interests.¹²⁸

These substantive arguments on procedural fairness were nevertheless left unresolved, as the court's decision addressed only issues of practice and procedure.¹²⁹ Subsequent cases, such as *Harvey v Minister Administering the Water Management Act 2000* (2008) 160 LGERA 50,¹³⁰ have since considered whether the Minister owed a duty of procedural fairness (in this case in relation to amending the Lower Murrumbidgee Groundwater Sources WSP).

In *Harvey* the court rejected the existence of the duty, in part on the grounds that the exercise of power to amend a plan does not involve an impact on individuals in the requisite direct and immediate sense necessary to establish procedural fairness (as any amendment to the plan will necessarily impact on all people with an interest in the water source as a class even though the impact might be different).¹³¹ Further, the court

¹²¹ These tensions relate to "active" and "inactive" (commonly referred to as sleeper) groundwater users. Although the overall allocations under the WSP are weighted towards active users, in a region that has experienced a 95% reduction in its overall allocation, active irrigators express considerable resentment towards inactive users – the nub of their concern is that they are sitting on valuable allocations that could be better put to productive use. Inactive users, on the other hand, fear that a loss of their licences would reduce their property values. As one government interviewee noted, "It is easy for sleepers to be up in arms about being compensated": Interview 410, Government Body. It is perhaps not surprising, then, that no permanent trades have taken place in the case study zone to date between active and inactive users (however, this argument does not apply to temporary trades, and, yet, here too, limited if any trading has occurred – a possible explanation for this is that, up until now at least, supplementary licences have reduced the motivation to trade).

¹²² Another concern raised by our irrigator interviewees was that they unanimously considered the compensation payments under the Achieving Sustainable Groundwater Entitlements program to be woefully inadequate (these payments were approximately \$80,000-\$100,000 per farm, which, they argue, is vastly outweighed by the undermining of the future productive capacity of their farms).

¹²³ Millar, above.

¹²⁴ There are diverse opinions as to the cause of these changes. Some do not blame government per se for misleading them, rather they point the finger at extensive lobbying by irrigators behind the scenes. The precise motivations and causes of this decision are beyond this article. What is clear, however, is that it was a decision taken by the government. Millar, above.

¹²⁵ See *Murrumbidgee Groundwater Preservation Assn Inc v the Minister for Natural Resources* (2005) 138 LGERA 11. See generally Millar, above; Preston B, "Water and Ecologically Sustainable Development in the Courts" (2009) 6 Macquarie J Int'l Comp Env'tl L 129 at 141.

¹²⁶ *Upper Namoi Water Users Assn Inc v Minister for Natural Resources* [2003] NSWLEC 175.

¹²⁷ Gardner et al, above, p 319.

¹²⁸ Millar, above.

¹²⁹ Gardner et al, above, p 319

¹³⁰ *Harvey v Minister Administering the Water Management Act 2000* (2008) 160 LGERA 50.

¹³¹ Gardner et al, above, p 322.

pointed out that even though the department had consulted widely with potentially affected people, it could not give rise to a duty of procedural fairness by the invocation of legitimate expectations, as there was no duty to be found from the interpretation of the legislation.¹³²

Commentary on these and other unsuccessful challenges to WSPs across New South Wales suggests that there are few prospects of finding a common law duty of procedural fairness applying to standard WSP procedures.¹³³ Moreover, what the cases, particularly *Upper Namoi*, demonstrably revealed was a belief that the participatory process had been trumped by the government, marginalising their input and failing to provide irrigators and the committee with the expected level of control over the result.¹³⁴

A second area of contention related to another key feature of the zone, namely a need to accommodate town water consumption (which was dependent on the same groundwater aquifer) within the overall zone allocation. Competing demands for groundwater generated considerable tension between the township and irrigators during the consultation process. As one irrigator described it, “we don’t get any support from the town”.¹³⁵ This was exacerbated by the decision to allocate approximately 80% of the overall sustainable diversion limit to the town, even though this was estimated to be substantially greater than the historical annual consumption of the town (an excess in the order of 700 ML per annum). In a zero-sum game, this greatly increased the subsequent reductions imposed on irrigators. Consequently, irrigators have had to contend with reductions of 95% (which are amongst the largest in the Murray Darling Basin). The local government decided to allow irrigators access to a portion of unused town water supplies at a price, which further contributed to the tension (with few water purchases taking place).¹³⁶

The third area of contention was the role assumed by the CMA in the negotiation process in the lead up to the WSP zone allocations. On all accounts, the process was time consuming but had successfully involved many peak groups and, in the later stages, many farmers. Even so, smaller irrigators and local farmers believe they ultimately had little say (let alone an opportunity to contribute to a consensus agreement) in a decision-making process that was dominated by large, downstream cotton irrigators and governments. The Office of Water also acknowledged shortcomings in the consultation process for the case study’s irrigators, particularly in earlier stages due to a lack of consultation at the local level with irrigators, focusing instead on government and peak irrigators as the main groups.

Even when local irrigators were engaged by the CMA in the latter stages of the process, there were reportedly significant weaknesses in the CMA’s capacity to facilitate meaningful negotiation. In particular, the CMA was seen as essentially impotent during the consultation process, with little tangible improvement, from the perspective of irrigators, in the process or final allocations.¹³⁷ This left many local farmers feeling they were not able to influence the shape of the WSP in their area, and that the decision-making process had been less than fair.

The fourth and final area of contention related to the technical information used by governmental bodies. Certainly, the Office of Water and CMA had provided significant technical and information support to community members and stakeholders to assist with decision-making on complex issues. Further, matters

¹³² Gardner et al, above, p 322.

¹³³ *Water Management Act 2000* (NSW), s 47; Gardner et al, above, pp 319-324.

¹³⁴ Kuehne G and Bjornlund H, “Frustration, Confusion and Uncertainty – Qualitative Responses From Namoi Valley Irrigators” (2006) 33(3) *Water* 78 at 82.

¹³⁵ Interview 404, Farmer.

¹³⁶ More recently there has been a lessening of tensions with the township agreeing to a permanent additional water allocation to irrigators – this is a consequence of having gained access to additional supplies from a dam external to the case study zone.

¹³⁷ Interview 410, Government.

being decided, such as water allocations and impacts on specific areas and people, were understandably technical. However, this complexity and an associated lack of sufficient assistance from the government, effectively precluded many local irrigators from understanding and accordingly inputting into the decision-making process.

In summary, the above perceptions have conspired to produce an enduring legacy of mistrust and resentment on the part of irrigators towards the Office of Water in particular, and to a lesser extent, the CMA, local government and other actors.¹³⁸ As a result, it is difficult not to question the degree of participatory decision-making achieved when the major affected group views the consultation process, and its outcomes, as fundamentally flawed.

In considering the NSW approach to water governance, it is important to acknowledge that there has been considerable concern about an erosion of community and stakeholder confidence in water law and governance in Australia.¹³⁹ According to one report, a primary cause of these apparently profound legitimacy shortfalls has been the “poorly managed” engagement of communities in water resource planning processes.¹⁴⁰ Indeed, it has been recommended that: “All levels of government should strengthen community involvement in water planning and management, recognising the value of local knowledge and the importance of regional implementation, and review institutional arrangements and capacity to enable effective engagement at the local level”.¹⁴¹

United States – California

According to some commentators, it has long been recognised that California and Chile are ‘strikingly similar in physical geography, climate, ecosystems, and natural resources’.¹⁴² In particular, Southern California’s near-desert climate is similar to Central Chile in that it is part maritime and part Mediterranean (and both regions occur adjacent to cold ocean currents and at similar latitudes).¹⁴³ In the 1960s, California commenced building its State Water Project (a large system of dams, canals and pumping stations) and actually sent two engineers involved in that project to live and consult in Chile for two years as part of a short-lived collaboration between the Chilean, United States and Californian governments which was on foot at that time.¹⁴⁴ The Californian engineers contributed to the planning and design for Colbún Reservoir (located on the Maule River), which was ultimately constructed after hydropower dams that were built on the Rapel River (the first hydropower dam to be built in Chile) and the Laja River.¹⁴⁵

One of the dominant land uses in California is agriculture, which occupies over 40% of the State, and irrigated cropland (which occupies around 20% of agricultural land) uses around 80% of all water that is consumed in California.¹⁴⁶

¹³⁸ See generally Kuehne and Bjornlund, above.

¹³⁹ National Water Commission (2011) *The National Water Initiative – Securing Australia’s Water Future: 2011 Assessment*, Australian Government.

¹⁴⁰ National Water Commission (2011) *The National Water Initiative – Securing Australia’s Water Future: 2011 Assessment*, Australian Government, page 6.

¹⁴¹ National Water Commission (2011) *The National Water Initiative – Securing Australia’s Water Future: 2011 Assessment*, Australian Government, page 7.

¹⁴² Carl Bauer and Luis Catalán, ‘Water, Law, and Development in Chile/California Cooperation, 1960-70s’ (2017) 90 *World Development* 184, 184.

¹⁴³ Eric L Garner, ‘Adapting water laws to increasing demand and a changing climate’ (2016) 41(6) *Water International* 883, 885.

¹⁴⁴ Carl Bauer and Luis Catalán, ‘Water, Law, and Development in Chile/California Cooperation, 1960-70s’ (2017) 90 *World Development* 184, 187.

¹⁴⁵ Carl Bauer and Luis Catalán, ‘Water, Law, and Development in Chile/California Cooperation, 1960-70s’ (2017) 90 *World Development* 184, 187-188.

¹⁴⁶ Eric L Garner, ‘Adapting water laws to increasing demand and a changing climate’ (2016) 41(6) *Water International* 883, 886 citing E Thompson Jr, *Agricultural land loss and conservation* (California Department of Food & Agriculture, AgVision White 2030 White Paper) https://www.cdfa.ca.gov/agvision/docs/Agricultural_Loss_and_Conservation.pdf.

The water governance model used in California is multi-tiered and complex and employs a mix of approaches. The diversity of approaches includes state-wide strategic planning for water management,¹⁴⁷ local-level water management through the establishment of regional water management groups and “integrated regional water management plans”,¹⁴⁸ a relatively new regime of local-level water management specifically in respect of groundwater,¹⁴⁹ and the State’s “Delta Plan”, which is a plan specifically for management of the Sacramento-San Joaquin Delta.¹⁵⁰ The Sacramento-San Joaquin Delta is considered by the State legislature to be the most valuable estuary and wetland ecosystem on the west coast of North and South America.¹⁵¹ The Delta plan aims to provide more reliable water supply for California and protect and restore the Delta ecosystem.¹⁵² In many instances, the ambit of these various governing bodies and water management plans overlaps.

An individual’s right to use and store water in California stems from the California Constitution and from rules arising out of the common law (in contrast to New South Wales in Australia, where rights to take water stem from a statutory licensing regime).¹⁵³ Such rights can be determined by the courts through a process of statutory adjudication.¹⁵⁴ The State uses entities known as ‘watermasters’ to ensure that water is allocated according to established rights as determined by court adjudications within established “service areas”.¹⁵⁵

For the purposes of this report, we have chosen to focus principally on the relatively new governance framework for California groundwater basins because it provides examples of participatory mechanisms of water governance. In addition, river systems in California are heavily regulated by dams and other infrastructure, meaning that the governance framework for river basins in California may not be readily transferable to the Rapel basin. For example, the California State Water Project is the water storage and delivery system for two thirds of the length of California. It supplies 27 million people and irrigates 750,000 acres of farmland.¹⁵⁶

The legislation enacting California’s new groundwater management framework (the *Sustainable Groundwater Management Act 2004* or SGMA), which was passed in September 2014, was developed largely in response to several periods of intense drought (over 2007-2010 and 2014), rates of groundwater overdraft that were considered unsustainable and associated observed impacts (such as subsidence, sea water intrusion into coastal aquifers, lessening stream flows and cracking irrigation canals).¹⁵⁷ This novel framework, which we describe in greater detail below, emphasises water planning at the local level, something which has been and reportedly is still done successfully in several Californian groundwater basins that are exempt from the operation of the SGMA.¹⁵⁸ These self-regulated basins include the Raymond Basin,

¹⁴⁷ This is in the form of the California Water Plan, which is required to be updated every five years: Cal Water Code §10004.

¹⁴⁸ This includes “integrated regional water management plans” which can be so broad as to include groundwater planning, urban water management planning, water supply assessment, agricultural water planning, city and county general planning, stormwater resource planning, flood protection and watershed management: Cal Water Code §10540. (2016).

¹⁴⁹ Discussed in further detail below.

¹⁵⁰ Cal Water Code §§85000-85350. See also Cameron Holley, ‘Crafting Collaborative Governance: Water Resources, California’s Delta Plan, and Audited Self-Management in New Zealand’ (2015) 45 *Environmental Law Reporter* 10324.

¹⁵¹ Cal Water Code §85002. (2010).

¹⁵² Cal Water Code §85054 (2010).

¹⁵³ Cal Water Code §10720.5 (2016).

¹⁵⁴ Cal Water Code §§2500-2868.

¹⁵⁵ See Cal Water Code §§ 4000-4407; ‘Watermaster Services’, *California Department of Water Resources* (Web Page) [<https://water.ca.gov/Programs/All-Programs/System-Reoperation-Program/Watermaster-Services>]

¹⁵⁶ ‘State Water Project’, *California Department of Water Resources* (Web Page) [<https://water.ca.gov/Programs/State-Water-Project>]; see also

¹⁵⁷ See Tina Cannon Leahy, ‘Desperate Times Call for Sensible Measures: The Making of the California Sustainable Groundwater Management Act’ (2015) 9 *Golden Gate University Environmental Law Journal* 5. In particular, see 27-39.

¹⁵⁸ Eric L Garner, ‘Adapting water laws to increasing demand and a changing climate’ (2016) 41(6) *Water International* 883, 888.

West Coast Basin, Central Basin and Upper Los Angeles River Area Basin, all of which are supervised by a court and supported by an allocated watermaster who collects data and reports on basin conditions annually. Elinor Ostrom's common pool resource theory, which forms the basis for many modern water governance frameworks, was in part derived from her analysis of these self-regulated Californian groundwater basins (also known as adjudicated basins because the division of water rights within each of them has been determined by a court).¹⁵⁹ Eric Garner perceives the success of this self-regulated approach to (at least in part) the employment of a four part process that involves, firstly performing a technical analysis of the basin, secondly, apportioning water allocations at a level of the basin's safe yield (in California this is done on the basis of common law water rights), and thirdly, creating a system of oversight and adaptive management.¹⁶⁰

Governance objectives

The first goal and overriding driver of California's new groundwater management framework is to achieve the sustainable management of groundwater basins in California. The objectives listed in the SGMA, which is discussed in greater detail, below, are as follows.¹⁶¹

- 10720.1. In enacting this part, it is the intent of the Legislature to do all of the following:
- (a) To provide for the sustainable management of groundwater basins.
 - (b) To enhance local management of groundwater consistent with rights to use or store groundwater and Section 2 of Article X of the California Constitution. It is the intent of the Legislature to preserve the security of water rights in the state to the greatest extent possible consistent with the sustainable management of groundwater.
 - (c) To establish minimum standards for sustainable groundwater management.
 - (d) To provide local groundwater agencies with the authority and the technical and financial assistance necessary to sustainably manage groundwater.
 - (e) To avoid or minimize subsidence.
 - (f) To improve data collection and understanding about groundwater.
 - (g) To increase groundwater storage and remove impediments to recharge.
 - (h) To manage groundwater basins through the actions of local governmental agencies to the greatest extent feasible, while minimizing state intervention to only when necessary, to ensure that local agencies manage groundwater in a sustainable manner.
 - (i) To provide a more efficient and cost-effective groundwater adjudication process that protects water rights, ensures due process, prevents unnecessary delay, and furthers the objectives of this part.

As demonstrated by objectives (a), (b), (c), (d) and (h), the concept of 'sustainable management' of groundwater is a central principle of this model. The expression 'sustainable groundwater management' is defined in the legislation to mean:¹⁶²

¹⁵⁹ Eric L Garner, 'Adapting water laws to increasing demand and a changing climate' (2016) 41(6) *Water International* 883, 887-888.

¹⁶⁰ Eric L Garner, 'Adapting water laws to increasing demand and a changing climate' (2016) 41(6) *Water International* 883, 888.

¹⁶¹ Cal Water Code §10720.1 (2016).

¹⁶² Cal Water Code §10729(v). (2019).

the management and use of groundwater in a manner that can be maintained during the planning and implementation horizon without causing undesirable results.

The ‘planning and implementation horizon’ is the ‘50-year time period over which a groundwater sustainability agency determines that plans and measures will be implemented in a basin to ensure that the basin is operated within its sustainable yield’. The expression ‘undesirable results’ is extensively defined to include groundwater conditions such as ‘chronic lowering of groundwater levels indicating a significant and unreasonable depletion over the planning and implementation horizon’ (not including overdraft during drought, ‘significant and unreasonable reduction of groundwater storage’, ‘significant and unreasonable sea water intrusion’ and ‘significant and unreasonable degraded water quality’.¹⁶³ What is notable in respect of these objectives is that they do not go so far as to explicitly incorporate ‘sustainable yield’ (either in the objectives themselves or as an element of sustainable groundwater management). ‘Sustainable yield’ means:¹⁶⁴

the maximum quantity of water, calculated over a base period representative of long-term conditions in the basin and including any temporary surplus, that can be withdrawn annually from a groundwater supply without causing an undesirable result.

This concept of ‘sustainable yield’ is thus a quantifiable metric that would be more difficult to achieve in practice than it would be to avoid the ‘undesirable results’ that are incorporated into the definition of ‘sustainable groundwater management’. Achieving the objectives of this model would not necessarily lead to sustainable yield.

Governance institutions and designs

The California Water Code (Water Code) is the State-wide legislation which underpins water management across the California. The Sustainable Groundwater Management Act of 2014 (SGMA) (which forms a part of the Water Code) is State-wide legislation which specifically applies to the management of California’s groundwater resources.¹⁶⁵ The SGMA empowers local agencies to form “Groundwater Sustainability Agencies” (GSA) to manage groundwater at basin-scale and requires GSAs of identified high and medium priority basins to develop and adopt “Groundwater Sustainability Plans” (GSPs).¹⁶⁶ This scheme is still in its early stages. The SGMA required GSAs (in high and medium priority basins) to submit formation documents to the Department of Water Resources by 1 July 2017, and 262 new GSAs, covering 140 groundwater basins, met that deadline.¹⁶⁷ As of May 2019, 265 unique local agencies have formed GSAs that account for 144 groundwater basins.¹⁶⁸ GSPs will be developed by GSAs over the next few years and are required to be

¹⁶³ Cal Water Code §10729(x) (2019).

¹⁶⁴ Cal Water Code §10729(w) (2019).

¹⁶⁵ *Sustainable Groundwater Management Act of 2014*, Cal Water Code §§10720-10737.8. However, the SGMA does not apply to a number of “adjudicated areas”, which are specified in Cal Water Code §10720.8 (2015). These areas continue to be administered through adjudication whereby courts quantify and determine private water rights for users and basin management is provided by a “Watermaster”: Ruth Langridge and Christopher Ansell, ‘Comparative Analysis of Institutions to Govern the Groundwater Commons in California’ (2018) 11(3) *Water Alternatives* 481, 485.

¹⁶⁶ See Cal Water Code §§10723 – 10724, 10727 - 10728.6; see also Rebecca Nelson and Debra Perrone, ‘Local groundwater withdrawal permitting laws in the South-Western United US: California in a comparative context’ (2016) 54(6) *Groundwater* 747, 748.

¹⁶⁷ Michael Kiparsky et al, ‘The Importance of Institutional Design for Distributed Local-level Governance of Groundwater: The Case of California’s Sustainable Groundwater Management Act’ (2017) 9 *Water* 755, 13; see also Esther Conrad, Janet Martinez, Tara Moran, Marcelle DuPraw, David Ceppo and William Blomquist, *To Consolidate or Coordinate? Status of the Formation of Groundwater Sustainability Agencies in California* (Stanford Law School, Water in the West, December 2016) available at [http://waterinthewest.stanford.edu/sites/default/files/GSA-Formation-Report_1.pdf]

¹⁶⁸ ‘All Posted GSA Notices’, *Department of Water Resources: SGMA Portal* (Web Page, 2019) <<https://sgma.water.ca.gov/portal/gsa/all>> last viewed on 16 May 2019.

submitted in January 2020.¹⁶⁹ For this reason, we there report does not contain any analysis of the effectiveness of any specific GSAs or GSPs to-date.

Generally, GSPs must include measurable objectives with interim milestones that are designed to achieve sustainability within 20 years.¹⁷⁰ GSAs have the power to regulate groundwater extraction, for example, by limiting or suspending extractions from individual groundwater wells or extractions from groundwater wells in the aggregate.¹⁷¹

While the focus of the Water Code is on local management of groundwater basins, it also provides for multiple forms of state intervention.¹⁷² The state (in the form of the “State Water Resources Control Board”) has power to intervene in a range of circumstances (e.g. if local agencies are unwilling or unable to carry out responsibilities) by designating a high or medium priority groundwater basin as a “probationary basin”.¹⁷³ The State Water Resources Control Board can then, for example, adopt an interim plan for the probationary basin that identifies remedial actions that are to be taken.¹⁷⁴ Such interim plans may only be adopted following notice and a public hearing.¹⁷⁵ The State also plays a role in evaluating and assessing GSPs.¹⁷⁶ As demonstrated by objective (h) of the SGMA, which indicates that state intervention is to be minimal and only to be used to ensure that local agencies sustainably manage groundwater, the backstop mechanism acts as an incentive for GSAs to innovate to manage local groundwater resources on their own.¹⁷⁷ In an article that chronicles in great detail the events leading up to the enactment of the SGMA, Tina Cannon Leahy suggests that there was a sense that the State Water Resources Control Board ‘was “scary” enough to prompt local action, and in essence, give locals political cover for the difficult decisions they would need to make’.¹⁷⁸ It may be appropriate to incorporate such an incentive mechanism into the new water governance model for the Rapel Basin i.e. not to encourage a top-down approach to water governance, but rather to encourage action by local entities who might be tasked with management obligations. The role of the State that is provided for by the SGMA generally reflects two design principles identified by Elinor Ostrom that characterise long-term collective management of common pool resources. That is, local governance that is overseen by the State, with the role of the State being supportive (ie limited mainly to the provision of structure, oversight and resources).¹⁷⁹

There are multiple other participatory elements to the processes associated with GSAs and GSPs. Firstly, with respect to GSAs, before deciding to become a GSA, the local agency is required to publish notice of its

¹⁶⁹ Michael Kiparsky et al, ‘The Importance of Institutional Design for Distributed Local-level Governance of Groundwater: The Case of California’s Sustainable Groundwater Management Act’ (2017) 9 *Water* 755, 13.

¹⁷⁰ Michael Kiparsky et al, ‘The Importance of Institutional Design for Distributed Local-level Governance of Groundwater: The Case of California’s Sustainable Groundwater Management Act’ (2017) 9 *Water* 755.

¹⁷¹ Cal Water Code §10726.4(a)(2) (2015).

¹⁷² See Cal Water Code §10735-10736.6 (Chapter 11).

¹⁷³ For example, in circumstances where a local agency fails to establish a GSA in respect of it (by 30 June 2017) (§10735.2(a)(1)), no GSP is adopted by a GSA (by 31 January 2020) (§10735.2(a)(2),(4)), the Department of Water Resources determines that a GSP is inadequate or is not being implemented in a manner so as to achieve its sustainability goal (§10735.2(a)(3)) or if the basin is found to be in “long term overdraft” (§10735.2(a)(5)).

¹⁷⁴ Cal Water Code §10735.8 (2015).

¹⁷⁵ Cal Water Code §10735.8 (2015).

¹⁷⁶ Cal Water Code §§10733.-10733.8.

¹⁷⁷ This is consistent with the Chair of the California State Water Resources Board having reportedly stated on multiple occasions that the State wants to support local agencies rather than interfere with their ability to craft local solutions to local problems: David Aladjem and David Sunding, ‘Marketing the Sustainable Groundwater Management Act: Applying Economics to Solve California’s Groundwater Problems’ (2015) 30 *Natural Resources and Environment* 28, 29.

¹⁷⁸ Tina Cannon Leahy, ‘Desperate Times Call for Sensible Measures: The Making of the California Sustainable Groundwater management Act’ 9 *Golden Gate University Environmental Law Journal* 5, 37.

¹⁷⁹ Elinor Ostrom, *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action* (Cambridge University Press, 1990).

intention and to hold a public hearing.¹⁸⁰ The Water Code requires a GSA to ‘consider the interests of all beneficial uses and users of groundwater’, including (amongst others) holders of groundwater rights, agricultural users, domestic well owners, municipal well operators, public water systems, local land use planning agencies, environmental users of groundwater, surface water users (if there is a hydrologic connection), the federal government (including the military), California Native American tribes and disadvantaged communities.¹⁸¹ All GSAs are also required to establish and maintain a list of persons interested in receiving notices regarding plan preparation etc, and any person may request (in writing) to be placed on such a list.¹⁸²

By way of example, the Kern Groundwater Authority Groundwater Sustainability Agency (Kern GSA), a relatively large GSA located at the southern end of the San Joaquin Valley, lists agricultural users (including ‘individual landowners’ and eight pre-existing irrigation districts which supply water to agricultural users), domestic well owners (who it states already have relationships with existing irrigation districts), six municipalities (who act as local land use planning agencies and municipal well operators), four specific environmental groups, and state and federal regulatory agencies as interest parties.¹⁸³ The formal members of the Kern GSA are all either municipalities, irrigation districts and water storage districts (ie water providers) and existing water agencies/water authorities.¹⁸⁴ In other words, there are no individual members of the Kern GSA, rather members are associations, organisations or agencies with stakeholder interests in the groundwater basin.

Secondly, with respect to the preparation of GSPs, prior to initiating the development of a GSP, the GSA is required to make available to the public (and the Department of Water Resources) a statement describing the manner in which interested parties may participate in the development and implementation of the GSP.¹⁸⁵ The Water Code requires GSPs to ‘encourage the active involvement of diverse social, cultural, and economic elements of the population within the groundwater basin prior to and during the development and implementation of the groundwater sustainability plan’ and gives a GSA discretion to appoint an advisory committee of interested parties.¹⁸⁶ A GSA is also required to give notice and consider comments from any cities or counties within the area of the GSP prior to adopting or amending a GSP.¹⁸⁷ The California Department of Water Resources makes available to GSAs a range of resources that provide guidance on participation and stakeholder engagement.¹⁸⁸ For example, the Department’s *Stakeholder Communication*

¹⁸⁰ Cal Water Code §10723(b) (2016).

¹⁸¹ Cal Water Code §10723.2 (2018).

¹⁸² Cal Water Code §10723.4 (2015).

¹⁸³ See Exhibit E(1) ‘Interested Parties List for the Kern Groundwater Authority Groundwater Sustainability Agency’ available at ‘Kern Groundwater Authority Groundwater Sustainability Agency’, *Department of Water Resources: SGMA Portal* (Web Page, 6 November 2018) <<https://sgma.water.ca.gov/portal/gsa/print/306>>.

¹⁸⁴ See *Amended and restated joint powers agreement*, Kern Groundwater Authority for the Tulare Lake Basin Portions of Kern County (at 22 March 2017) available at ‘Kern Groundwater Authority Groundwater Sustainability Agency’, *Department of Water Resources: SGMA Portal* (Web Page, 6 November 2018) <<https://sgma.water.ca.gov/portal/gsa/print/306>>.

¹⁸⁵ Cal Water Code §10727.8 (2016).

¹⁸⁶ Cal Water Code §10727.8 (2016).

¹⁸⁷ Cal Water Code §10728.4 (2015)

¹⁸⁸ See ‘Assistance and Engagement’ *California Department of Water Resources* (Web Page) [<https://water.ca.gov/Programs/Groundwater-Management/Assistance-and-Engagement>].

and *Engagement* guidance document,¹⁸⁹ which is also available in Spanish language, and its *Engagement with Tribal Governments* guidance document.¹⁹⁰

The Kern GSAs 'Communication and Engagement Plan' was adopted in May 2018.¹⁹¹ The plan identifies relevant stakeholders, challenges to engagement and the GSA's proposed approach to engagement and decision making. With respect to decision making, the plan provides that the decision-making process is split between the GSA's Board of Directors (responsible for adopting general policies), Executive Policy Committee (responsible on 'need-only' basis to provide direction on finances and other issues) and Coordination Committee (responsible for representing users of groundwater and for making recommendations to the Board and to technical consultants).¹⁹² Some of the participatory tools being used by the Kern GSA to develop its GSP include regular stakeholder meetings, educational/outreach meetings and stakeholder surveys.¹⁹³ At this stage, the Kern GSA has prepared a draft 'Groundwater Sustainability Plan Outline: Umbrella', which was drafted by a consultant and submitted to the GSA in December 2018.¹⁹⁴ This draft document is a skeleton/template outline of the GSP. It indicates that the GSP will include details about (amongst other things) basin setting, sustainability goals, monitoring networks, milestones, water supply accounting and reporting.

Capacities to deliver governance objectives

The Water Code confers a range of powers and authorities on GSAs to allow them to carry out their functions. For example, GSAs have powers to (amongst other things): adopt rules, regulations, ordinances, and resolutions; conduct investigations (including powers to inspect property of facilities); require water-metering and annual statements of water extraction; deal in land and property; appropriate and acquire surface water and groundwater rights; transport and treat polluted water or wastewater; impose requirements on new well constructions; regulate, limit or suspend extractions from individual wells; and authorise temporary or permanent transfers of groundwater extraction allocations within the GSA's boundaries.¹⁹⁵

In respect of funding, financial support is provided by the State government for the development and implementation of GSPs through a grant program (the Sustainable Groundwater Management Grant Program) administered by DWR.¹⁹⁶ The Grant Program is currently entering its third round, through which around \$47 million USD will be made available for competitive grants. In the first round (2015) of the Grant Program, DWR awarded 21 grants for a total of \$6.7 million and in the second round (2017) DWR awarded 78 grants totalling \$85.8 million. A fourth round is expected to open in early 2020 through which around \$88

¹⁸⁹ California Department of Water Resources, *Guidance Document for Groundwater Sustainability Plan: Stakeholder Communication and Engagement* (January 2018).

¹⁹⁰ California Department of Water Resources, *Guidance Document for the Sustainable Management of Groundwater: Engagement with Tribal Governments* (January 2018).

¹⁹¹ Provost & Richard Consulting Group, *Kern Groundwater Authority: Community & Engagement Plan* (May 2018) <<http://www.kerngwa.com/assets/kgwa-communication---engagement-plan---may-2018.pdf>>.

¹⁹² *Ibid* p 1-5.

¹⁹³ For example, on 14 May 2019 the Kern GSA hosted an event where water users could meet with representatives from sub-basin GSAs (of which there are four), water/irrigation districts, the State Water Resources Control Board and the California and the DWR to 'discuss the Kern Subbasin Groundwater Sustainability Plans and future SGMA implementation', and on its website, it has available two stakeholder surveys 'to voice your concerns and provide your valuable input for the development of the GSP' (one for general stakeholders and the other for agriculture specific stakeholders): 'Resources & Outreach', *Kern Groundwater Authority* (Web Page, 2019) <<http://www.kerngwa.com/resources---outreach.html>>

¹⁹⁴ GEI Consultants, Inc, *Groundwater Sustainability Plan Outline: UMBRELLA* (submitted to Kern Groundwater Authority, 13 December 2018) <<http://www.kerngwa.com/assets/gsp-outline-umbrella--12-21-2018.pdf>>

¹⁹⁵ See Cal Water Code §§10725-10726.9.

¹⁹⁶ See California Department of Water Resources, 'Sustainable Groundwater Management Grant Program', *California Department of Water Resources* (Web Page, 2019) <<https://water.ca.gov/Work-With-Us/Grants-And-Loans/Sustainable-Groundwater>>.

million will be made available for competitive grants to projects addressing drought and groundwater investments.

GSA's also have the power to impose fees¹⁹⁷ and some powers of enforcement, including the bringing of court proceedings or the administrative imposition of civil penalties (provided that notice and an opportunity for hearing is given to the offender).¹⁹⁸ The Water Code also provides a mechanism for GSA's to file notice with the State Water Resources Control Board about any state entity that is not working cooperatively regarding the implementation of a GSP. If the Board finds that the failure of the state entity to work cooperatively compromises the ability of the GSA to implement its GSP in a way that will likely achieve its sustainability goal, then the Board has discretion to direct the state entity to cooperate.¹⁹⁹

Kiparsky et al assessed the SGMA against nine criteria (five efficacy criteria and four fairness criteria)²⁰⁰ identified by the authors as being 'enabling conditions that make it possible for groundwater governance systems to practice good governance'.²⁰¹ With respect to human capacity, one of the five efficacy criteria, they state that GSA's will need to develop a mixture of in-house talent, external expertise and leadership and that GSA's will need to decide 'how best to recruit and retain professional staff capable of developing the necessary experience with regional hydrologic conditions, politics and infrastructure'.²⁰² If local agencies are to be utilised in the Rapel Basin, such agencies will also need to be equipped with appropriate human capacity.

As recognised by Kiparsky et al., the development of human capacity comes with a cost, so 'it will be critical [for GSA's] to define needs so that plans and budgets can be aligned with the availability and timing of financial resources'.²⁰³ With respect to funding (another of the five efficacy criteria), Kiparsky et al. state that GSA's will need to build funding mechanisms into their institutional design, and that while the Water Code does confer power on GSA's to collect fees (e.g. for pumping), the raising of such fees has a history of arousing political and legal opposition.²⁰⁴ Kiparsky et al. state that, over the long term, GSA's will need to more sustainable funding models.²⁰⁵ As referred to above, the State government has also provided some financial support for the preparation and initial implementation of GSP's through its Sustainable Groundwater Management Grant Program.

Institutional arrangements for the management of common pool resources such as groundwater should be informed by knowledge about local social and environmental conditions.²⁰⁶ The State administers a range of publicly accessible tools for data collection, monitoring and reporting in relation to water, especially in

¹⁹⁷ See Cal Water Code §§10730-10731.

¹⁹⁸ Cal Water Code §10732.1 (2015).

¹⁹⁹ Cal Water Code §10732.2 (2016).

²⁰⁰ The nine criteria are scale, human capacity, funding, authority and independence (the efficacy criteria) and participation, representation, accountability and transparency (the fairness criteria).

²⁰¹ Michael Kiparsky et al, 'The Importance of Institutional Design for Distributed Local-level Governance of Groundwater: The Case of California's Sustainable Groundwater Management Act' (2017) 9 *Water* 755.

²⁰² Michael Kiparsky et al, 'The Importance of Institutional Design for Distributed Local-level Governance of Groundwater: The Case of California's Sustainable Groundwater Management Act' (2017) 9 *Water* 755, 6.

²⁰³ Michael Kiparsky et al, 'The Importance of Institutional Design for Distributed Local-level Governance of Groundwater: The Case of California's Sustainable Groundwater Management Act' (2017) 9 *Water* 755, 6.

²⁰⁴ Michael Kiparsky et al, 'The Importance of Institutional Design for Distributed Local-level Governance of Groundwater: The Case of California's Sustainable Groundwater Management Act' (2017) 9 *Water* 755, 7

²⁰⁵ Michael Kiparsky et al, 'The Importance of Institutional Design for Distributed Local-level Governance of Groundwater: The Case of California's Sustainable Groundwater Management Act' (2017) 9 *Water* 755, 12.

²⁰⁶ See Elinor Ostrom, *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action* (Cambridge University Press, 1990); Elinor Ostrom, 'The Danger of Self-Evident Truths' (2000) 33(1) *PS: Political Science and Politics* 33.

respect of groundwater.²⁰⁷ For example, the California Natural Resources Agency Open Data Platform provides an environment to publish and share useful data, the Department of Water Resources' SGMA Portal allows local agencies, GSAs and watermasters to submit, modify and view information required by the SGMA and allows the public to provide comment, the Water Data Library contains hydrologic data for over 35,000 wells and the California State-wide Groundwater Elevation Monitoring (CASGEM) Program is a collaboration between local monitoring parties and the Department of Water Resources to collect and make publicly available information about state-wide groundwater elevations.²⁰⁸

United States – Arizona

Arizona is a large land-locked state with a warm and dry climate (with daytime summer temperatures in population centres commonly exceeding 37 degrees Celsius) that varies somewhat with elevation.²⁰⁹ Water use in Arizona is dominated by agricultural uses (at around 70%) followed by municipal uses (around 22%) and industrial uses (8%).²¹⁰

Water governance in Arizona is generally characterised by a top-down approach. Groundwater supplies around 43% of Arizona's water supply and the other half comes from surface water,²¹¹ largely from the Colorado River (around 32%)²¹² either directly (from the river or its tributaries) or via diversions.²¹³ The Central Arizona Project (known as CAP) brings water from the Colorado River to central and southern Arizona via a 330-mile-long canal.²¹⁴ The Colorado River flows through six US states and Mexico. Each state (including Mexico) is entitled to a specified volume of Colorado River water per year, with Arizona being entitled to 2.8 million acre feet (around 3450 gigalitres).²¹⁵ The CAP is designed to deliver around half of Arizona's allocation into central and southern Arizona.²¹⁶ Despite hydrologic connections, the body of law that regulates groundwater use in Arizona is separate from the code that governs surface water use.²¹⁷ The right to extract surface water in Arizona is generally based on common law rights of prior appropriation (ie "first in time, first

²⁰⁷ See 'Data and Tools', *California Department of Water Resources* (Web Page) [<https://water.ca.gov/Programs/Groundwater-Management/Data-and-Tools>].

²⁰⁸ See 'Data and Tools', *California Department of Water Resources* (Web Page) [<https://water.ca.gov/Programs/Groundwater-Management/Data-and-Tools>].

²⁰⁹ Katherine L Jacobs and James M Holway, 'Managing for sustainability in an arid climate: lessons learned from 20 years of groundwater management in Arizona, USA' (2004) 12 *Hydrogeology Journal* 52, 53.

²¹⁰ Rhett Larson and Brian Payne, 'Unclouding Arizona's Water Future' (2017) 49(0465) *Arizona State Law Journal* 465, 469 citing *Securing Arizona's Water Future*, Arizona Department of Water Resources < <http://www.azwater.gov/AzDWR/PublicInformationOfficer/documents/supplydemand.pdf> (last visited May 26, 2017).

²¹¹ Rhett Larson and Brian Payne, 'Unclouding Arizona's Water Future' (2017) 49(0465) *Arizona State Law Journal* 465, 469.

²¹² Rhett Larson and Brian Payne, 'Unclouding Arizona's Water Future' (2017) 49(0465) *Arizona State Law Journal* 465, 469.

²¹³ Katherine L Jacobs and James M Holway, 'Managing for sustainability in an arid climate: lessons learned from 20 years of groundwater management in Arizona, USA' (2004) 12 *Hydrogeology Journal* 52, 53.

²¹⁴ Katherine L Jacobs and James M Holway, 'Managing for sustainability in an arid climate: lessons learned from 20 years of groundwater management in Arizona, USA' (2004) 12 *Hydrogeology Journal* 52, 53.

²¹⁵ These allocations were determined and are governed by a number of transboundary agreements, federal legislation and a US Supreme Court decree: the Colorado River Compact (1922), the Boulder Canyon Project Act (1928), the Mexican Water Treaty (1944), the Upper Colorado Basin Compact (1948), a 1964 decision of the US Supreme Court adjudicating a dispute between Arizona and California (*Arizona v. California*, 376 U.S. 340 (1964) [84 S.Ct. 755]), the Colorado River Basin Project Act (1968) and the Colorado River Basin Salinity Control Act (1974). For a general summary of each of these, see 'Colorado River Management: Law of the River' *Arizona Department of Water Resources* (Web Page) [<https://new.azwater.gov/crm/law-river>].

²¹⁶ Katherine L Jacobs and James M Holway, 'Managing for sustainability in an arid climate: lessons learned from 20 years of groundwater management in Arizona, USA' (2004) 12 *Hydrogeology Journal* 52, 54.

²¹⁷ Katherine L Jacobs and James M Holway, 'Managing for sustainability in an arid climate: lessons learned from 20 years of groundwater management in Arizona, USA' (2004) 12 *Hydrogeology Journal* 52, 55; Rhett Larson and Brian Payne, 'Unclouding Arizona's Water Future' (2017) 49(0465) *Arizona State Law Journal* 465, 483.

in right”)²¹⁸ and is prioritised during times of scarcity.²¹⁹ Groundwater use is further constrained by beneficial use requirements and additional limitations that are set out in the state’s *Groundwater Management Act*, which is further discussed below.²²⁰

Other (sometimes overlapping) approaches to water governance in Arizona include adjudicated basins (where courts have determined the nature, extent and priority of water rights),²²¹ and ‘community water system’ (CWC) planning and reporting (briefly further discussed, below).²²² Water rights can also, in some circumstances, be transferred or exchanged.²²³

In this report, we will focus on the model that is established by Arizona’s *Groundwater Management Act* (GMA) and the use of CWC planning and reporting because these aspects of Arizona’s water governance model offer examples of participatory mechanisms and local-level planning. Like in California, surface water management is largely based on common law rights and physically regulated by large-scale infrastructure projects (so will have limited transferability to Rapel).

Governance objectives

The GMA was passed suddenly in 1980 in response to what Jon Kyl describes as unseen pressures that were building up for years (like an earthquake or a volcano).²²⁴ In the lead up to the passing of the legislation, total water use in Arizona was exceeding what was considered to be sustainable by close to 100%, over-extraction of groundwater in central Arizona was causing earth fissures and the closure of some farms, development was proceeding at an ‘unprecedented pace’ and new extractive industries placed additional pressures on water supply.²²⁵ The ultimate catalyst for the GMA was a series of reportedly unpopular court decisions concerning legal disputes over water between Arizona’s cities, miners and farmers.²²⁶ The GMA shifted Arizona from a system of groundwater governance that was based primarily on private landholder rights and control to one characterised by state management of groundwater and reliance on state police power that was used to reduce existing private rights to water.²²⁷

²¹⁸ A.R.S. § 45-151(A) (1995), § 45-171; Katherine L Jacobs and James M Holway, ‘Managing for sustainability in an arid climate: lessons learned from 20 years of groundwater management in Arizona, USA’ (2004) 12 *Hydrogeology Journal* 52, 55.

²¹⁹ A.R.S. § 45-175; for a comprehensive summary of Arizona’s surface water law see Rhett Larson and Brian Payne, ‘Unclouding Arizona’s Water Future’ (2017) 49(0465) *Arizona State Law Journal* 465, 470-476; for a simple description of how Colorado River water is prioritised, see ‘Colorado River Management: Arizona Colorado River Allocation’, *Arizona Department of Water Resources* (Web Page) [<https://new.azwater.gov/crm/colorado-river-allocation>].

²²⁰ Katherine L Jacobs and James M Holway, ‘Managing for sustainability in an arid climate: lessons learned from 20 years of groundwater management in Arizona, USA’ (2004) 12 *Hydrogeology Journal* 52, 55.

²²¹ A.R.S. §§ 45-251 to 45-264; see also ‘Adjudications’, *Arizona Department of Water Resources* (Web Page) [<https://new.azwater.gov/adjudications>]; for a recent discussion of the two adjudicated basins in Arizona, see Kathleen Ferris and Sarah Porter, ‘Not just tilting at windmills’ (2018) 8(3) *Arizona Journal of Environmental Law & Policy* 22; for an analysis of the relationship between stream adjudications and Arizona’s Groundwater Management Act see Rhett Larson and Brian Payne, ‘Unclouding Arizona’s Water Future’ (2017) 49(0465) *Arizona State Law Journal* 465.

²²² A.R.S. §§ 45-341 to 45-343; see also ‘Community Water Systems’ *Arizona Department of Water Resources* (Web Page) [<https://new.azwater.gov/cws>].

²²³ A.R.S. §§ 45-176, 45-1001 – 45-1063. For a paper that considers how Arizona could incorporate public interest considerations into its water management regime, specifically in respect of transfers, see Janet M Howe, ‘Arizona Water Law: A Parched Public Interest’ (2016) 58 *Arizona Law Review* 541; for discussion on water exchanges in Arizona (substituting one type of water for another) see Robert Glennon, ‘Water Exchanges: Arizona’s Most Recent Innovation in Water Law and Policy’ (2018) 8(3) *Arizona Journal of Environmental Law and Policy* 1.

²²⁴ Jon L Kyl, ‘The 1980 Arizona Groundwater Management Act: From Inception to Current Constitutional Challenge’ (1982) 53 *University of Colorado Law Review* 471, 472.

²²⁵ Jon L Kyl, ‘The 1980 Arizona Groundwater Management Act: From Inception to Current Constitutional Challenge’ (1982) 53 *University of Colorado Law Review* 471, 473.

²²⁶ Rhett Larson and Brian Payne, ‘Unclouding Arizona’s Water Future’ (2017) 49(0465) *Arizona State Law Journal* 465, 467; Jon L Kyl, ‘The 1980 Arizona Groundwater Management Act: From Inception to Current Constitutional Challenge’ (1982) 53 *University of Colorado Law Review* 471, 474.

²²⁷ Jon L Kyl, ‘The 1980 Arizona Groundwater Management Act: From Inception to Current Constitutional Challenge’ (1982) 53 *University of Colorado Law Review* 471, 471-472.

The GMA declares that groundwater in Arizona is of such importance that it is in the best interest of the State and its citizens that the legislature uses its police powers to regulate groundwater uses (ie top-down command and control). The GMA provides (our underlining):²²⁸

A. The legislature finds that the people of Arizona are dependent in whole or in part upon groundwater basins for their water supply and that in many basins and sub-basins withdrawal of groundwater is greatly in excess of the safe annual yield and that this is threatening to destroy the economy of certain areas of this state and is threatening to do substantial injury to the general economy and welfare of this state and its citizens. The legislature further finds that it is in the best interest of the general economy and welfare of this state and its citizens that the legislature evoke its police power to prescribe which uses of groundwater are most beneficial and economically effective.

B. It is therefore declared to be the public policy of this state that in the interest of protecting and stabilizing the general economy and welfare of this state and its citizens it is necessary to conserve, protect and allocate the use of groundwater resources of the state and to provide a framework for the comprehensive management and regulation of the withdrawal, transportation, use, conservation and conveyance of rights to use the groundwater in this state.

In a paper which identifies lessons learned from the first 20 years of Arizona's GMA, Katharine Jacobs and James Holway state that the GMA charted a course for the municipal (ie urban) sector in declared 'active management areas' to move away from groundwater use and towards the use of renewable supplies (other surface water), on the basis that municipal water use was expected to grow, whereas water use by agriculture and mining was expected to reduce.²²⁹ Active Management Areas (AMAs), which are discussed in greater detail below, are subject to the greatest level of regulation under the GMA and to the following statutory management goals, which in some cases incorporate the concept of 'safe yield':

A. The management goal of the Tucson, Phoenix and Prescott active management areas is safe-yield by January 1, 2025, or such earlier date as may be determined by the director.

B. The management goal of the Pinal active management area is to allow development of non-irrigation uses as provided in this chapter and to preserve existing agricultural economies in the active management area for as long as feasible, consistent with the necessity to preserve future water supplies for non-irrigation uses.

C. The management goal of the Santa Cruz active management area is to maintain a safe-yield condition in the active management area and to prevent local water tables from experiencing long-term declines.

D. Except as otherwise provided for the Santa Cruz active management area, all initial active management areas are subject to all provisions of this chapter.

The expression safe-yield is defined in the legislation to mean:²³⁰

²²⁸ A.R.S. § 45-401 (1980).

²²⁹ Katherine L Jacobs and James M Holway, 'Managing for sustainability in an arid climate: lessons learned from 20 years of groundwater management in Arizona, USA' (2004) 12 *Hydrogeology Journal* 52, 58.

²³⁰ A.R.S. § 45-561.12 (1995).

a groundwater management goal which attempts to achieve and thereafter maintain a long-term balance between the annual amount of groundwater withdrawn in an active management area and the annual amount of natural and artificial recharge in the active management area.

As stated by Jacobs and Holway, this concept of safe yield is ‘not necessarily synonymous with sustainability’ as it does not account for diminished surface water flows or localised areas of depletion. It also does not ensure the avoidance of subsidence impacts²³¹ or incorporate any water quality goals or standards. Unlike in California, there are also no goals or objectives with respect to local-level involvement in water management. This is consistent with the primarily top-down approach to water management that is employed in Arizona.

With respect to the CWC planning and reporting program, the legislation does not prescribe any specific objectives. However, a 2006 guidance document published by the Department of Water Resources provides some indication of the intended purpose of CWC planning. It provides (our underlining):²³²

Recognizing the need for adequate water planning, the Arizona Legislature passed House Bill 2277 during the 2005 legislative session. House Bill 2277, now established in the Arizona Revised Statutes, created a requirement for community water systems to develop and submit a System Water Plan to ADWR. The development of these plans is an important step toward improving water resource management planning at both the state and local levels. They will enable the state to identify data gaps and gather much needed information. In addition, these plans will allow the state to increase public awareness regarding water supplies, local drought preparedness and response measures, and to promote appropriate statewide conservation practices.

In other words, the purpose of the CWC planning and reporting program is to allow the State to collect local-level information about municipal water and to increase public awareness about local-level water supply, drought preparedness and water conservation. Again, there is no suggestion that local participation in the planning process is a specific goal of the program.

Governance institutions and designs

Title 45 of the Arizona Revised Statutes relates to Waters and incorporates the GMA (which was first introduced in 1980). The GMA established the Arizona Department of Water Resources (ADWR), which has primary responsibility in Arizona for the administration and enforcement of the State’s water governance regime.²³³

Pursuant to the GMA, there are three tiers of groundwater management in Arizona. Firstly, at the state-wide level there are rules around licensing of well drillers, well registration and prohibitions on the transportation of groundwater between sub-basins.²³⁴ Jacobs and Holway describe the effect of these provisions as

²³¹ Katherine L Jacobs and James M Holway, ‘Managing for sustainability in an arid climate: lessons learned from 20 years of groundwater management in Arizona, USA’ (2004) 12 *Hydrogeology Journal* 52, 55.

²³² Arizona Department of Water Resources, *System Water Plan Guidance Document* (11 August 2006) available at [<http://infoshare.azwater.gov/docushare/dsweb/Get/Document-10017/SystemWaterPlanGuidancefinal.pdf>]. This document is required to be prepared by the director of the Arizona Department of Water Resources pursuant to A.R.S. § 45-342(M) (2005).

²³³ A.R.S. § 45-102 (1980); A.R.S. § 45-103 (1992); A.R.S. § 45-105(B) (2018); Katherine L Jacobs and James M Holway, ‘Managing for sustainability in an arid climate: lessons learned from 20 years of groundwater management in Arizona, USA’ (2004) 12 *Hydrogeology Journal* 52, 53.

²³⁴ Katherine L Jacobs and James M Holway, ‘Managing for sustainability in an arid climate: lessons learned from 20 years of groundwater management in Arizona, USA’ (2004) 12 *Hydrogeology Journal* 52, 55. See for example, A.R.S. §§ 45-541 - 45-547 in relation to transportation and A.R.S. §§ 45-591 - 45-606 in relation to wells.

'limited'.²³⁵ Secondly, the GMA establishes 'Irrigation Non-Expansion Areas' (INAs).²³⁶ INAs are established where there 'is insufficient groundwater to provide reasonably safe supply for irrigation of cultivated lands in the area at the current rates of withdrawal'.²³⁷ Within INAs there are no limits placed on non-agricultural water use, but no new land can be brought into agricultural production.²³⁸ Thirdly, the GMA establishes AMAs (Active Management Areas). The GMA initially established four AMAs and a further AMA was subsequently established.²³⁹ The five AMAs cover only 23% of Arizona's land area but include over 80% of the population, over 50% of total water use and 70% of the State's groundwater overdraft.²⁴⁰ The GMA establishes five management periods (between 1980 and 2025) for AMAs. For each management period, the director of the ADWR is required to prepare an increasingly stringent management plan, including continuing mandatory conservation programs designed to achieve reductions in withdrawals of groundwater.²⁴¹ The GMA prescribes guidelines for the preparation of each phase of planning.

By way of more specific example, the fourth management plan for the Tucson AMA (Tucson 4GMP) was prepared based on a technical assessment prepared by the ADWR that comprised 'a compilation and study of historical water demand and supply characteristics for [the AMA] for the years 1985-2006' and also included seven 'water supply and demand projection scenarios through the year 2025'.²⁴² The Tucson 4GMP separately defines goals, objectives and rules for the regulation of groundwater used by agriculture, municipalities and industry.²⁴³ Within AMAs, a statutory permit is generally required in order to exercise rights to groundwater (though such rights are themselves founded on common law rules of prior appropriation and beneficial use).²⁴⁴ Applications for such permits are advertised and the persons living within the same AMA may file objections and where a "proper written objection" is filed, an administrative hearing may be held before the application for the permit is determined.²⁴⁵ Within AMAs, annual withdrawal fees are charged against all non-exempt groundwater users,²⁴⁶ and application fees are also imposed²⁴⁷ on applications for various categories of permits that may be applied for under the GMA (e.g. underground storage facility permits, groundwater savings facility permits, water storage permits and recovery well permits).²⁴⁷ Funds raised from the collection of fees within an AMA under the GMA are only permitted to be used to finance augmentation and conservation assistance programs for the AMA or to fund projects approved by the Director of ADWR for monitoring and assessing water availability.²⁴⁸ Within the Tucson AMA, the ADWR

²³⁵ Katherine L Jacobs and James M Holway, 'Managing for sustainability in an arid climate: lessons learned from 20 years of groundwater management in Arizona, USA' (2004) 12 *Hydrogeology Journal* 52, 55.

²³⁶ See A.R.S. §§ 45-431 - 45-439.

²³⁷ A.R.S. § 45-432 (1980).

²³⁸ Katherine L Jacobs and James M Holway, 'Managing for sustainability in an arid climate: lessons learned from 20 years of groundwater management in Arizona, USA' (2004) 12 *Hydrogeology Journal* 52, 55; see also A.R.S. §§ 45-431 - 45-439.

²³⁹ A.R.S. § 45-411 (1994); see 'Active Management Areas' [<https://new.azwater.gov/ama>]

²⁴⁰ Katherine L Jacobs and James M Holway, 'Managing for sustainability in an arid climate: lessons learned from 20 years of groundwater management in Arizona, USA' (2004) 12 *Hydrogeology Journal* 52, 56.

²⁴¹ A.R.S. § 45-563(A) (1994). All AMAs are currently in the Third Management period, and the ADWR is currently in the process of preparing management plans for the Fourth Management period (which are due in 2020): 'Active Management Areas: Third Management Plan', *Arizona Department of Water Resources* (Web Page) [<https://new.azwater.gov/ama/management-plan/3>].

²⁴² Arizona Department of Water Resources, *Fourth Management Plan: Tucson Active Management Area* (13 May 2016) <http://infoshare.azwater.gov/docushare/dsweb/Get/Document-10038/TAMA_4MP_Complete.pdf> p 1-1.

²⁴³ Arizona Department of Water Resources, *Fourth Management Plan: Tucson Active Management Area* (13 May 2016) <http://infoshare.azwater.gov/docushare/dsweb/Get/Document-10038/TAMA_4MP_Complete.pdf>.

²⁴⁴ A.R.S. § 45-512 (1999); Rebecca Louise Nelson and Debra Perrone, 'Local Groundwater Withdrawal Permitting Laws in the South Western US: California in a Comparative Context' (2016) 54(6) *Groundwater* 747, 749-750.

²⁴⁵ A.R.S. § 45-523 (1998).

²⁴⁶ A.R.S. § 45-611(A).

²⁴⁷ A.R.S. § 45-133(E); A.R.S. § 45-871.01(A).

²⁴⁸ A.R.S. § 45-613(A).

identifies priority projects for funding 'with input from members of the GUAC and the water-using community', then recommendations are put forward to the Director.²⁴⁹ Depending on the type of project, projects may be funded via an intergovernmental agreement between ADWR and a public agency, via a contract entered into by ADWR for specific services, via a grant process (for both governmental and non-governmental entities) or by direct implementation by ADWR.²⁵⁰

The ADWR also administers the 'Assured and Adequate Water Supply Program', which is considered by Jacobs and Holway to be the 'most effective regulatory tool' that is available to AMAs.²⁵¹ It ties water management to land use planning by requiring developers to demonstrate physical, legal and continuous 'assured' water supply for the next 100 years (in accordance with a number of criteria that are set out in regulations) before the sale or subdivision of land within an AMA.²⁵² Outside of AMAs, developers are required to disclose whether there is 'adequate' or 'inadequate' water supply to the land prior to sale or subdivision. However, the disclosure of inadequate supply does not prevent sale or subdivision of the land from occurring.²⁵³

For each AMA, there is one area director who reports to the director of the ADWR.²⁵⁴ The area director is required to assist the director with development of the management plan for the AMA and to provide technical and clerical services to the 'groundwater users advisory council' (GUAC).²⁵⁵ Each AMA has a GUAC that consists of five appointed members to 'represent the users of groundwater in the active management area and on the basis of their knowledge of interest in and experience with problems relating to the development, use and conservation of water'.²⁵⁶

Opportunities for public participation in respect of the administration of AMAs arise principally during the management plan preparation process, as is the case in New South Wales. Management plans may only be adopted after public hearings have been held.²⁵⁷ Public hearings are to be notified in the newspaper and are to provide an opportunity for any person to appear and submit oral or documentary evidence for or against the adoption of the management plan.²⁵⁸ In the case of the Tucson AMA, following publication of the technical assessment that was developed by ADWR to support the preparation of the fourth management plan, ADWR presented the Tucson GUAC with a draft of the management plan.²⁵⁹ These institutional arrangements demonstrate the comparatively top-down approach that Arizona takes to water management in contrast to California's relatively new and locally entrenched Sustainable Groundwater Management Act.

²⁴⁹ Arizona Department of Water Resources, *Fourth Management Plan: Tucson Active Management Area* (13 May 2016) <http://infoshare.azwater.gov/docushare/dsweb/Get/Document-10038/TAMA_4MP_Complete.pdf>, pp 9-6 – 9-7

²⁵⁰ Arizona Department of Water Resources, *Fourth Management Plan: Tucson Active Management Area* (13 May 2016) <http://infoshare.azwater.gov/docushare/dsweb/Get/Document-10038/TAMA_4MP_Complete.pdf>, pp 9-6 – 9-7

²⁵¹ Katherine L Jacobs and James M Holway, 'Managing for sustainability in an arid climate: lessons learned from 20 years of groundwater management in Arizona, USA' (2004) 12 *Hydrogeology Journal* 52, 62.

²⁵² A.R.S. § 45-576 (2017).

²⁵³ A.R.S § 45-108(A); see also 'Assured and Adequate Water Supply', *Arizona Department of Water Resources* (Web Page)

²⁵⁴ A.R.S. § 45-418 (2012).

²⁵⁵ A.R.S. § 45-419 (1980).

²⁵⁶ A.R.S. § 45-420 (1994).

²⁵⁷ A.R.S. § 45-563 (1994).

²⁵⁸ A.R.S. § 45-570 (1986).

²⁵⁹ Arizona Department of Water Resources, *Fourth Management Plan: Tucson Active Management Area* (13 May 2016) <http://infoshare.azwater.gov/docushare/dsweb/Get/Document-10038/TAMA_4MP_Complete.pdf> p 1-1.

Arizona's CWC planning and reporting program provides an example of somewhat more local-level water management planning, although principally in the municipal context. The program concerns public water systems (i.e. entities that distribute or sell water).²⁶⁰ A CWC is:²⁶¹

A public water system that serves at least fifteen service connections used by year-round residents of the area served by the system or that regularly serves at least twenty-five year-round residents of the area served by the system. ...

With some exceptions, all CWCs are required to prepare a water system plan which incorporates a water supply plan, a drought preparedness plan and a water conservation plan. Water system plans are to be approved by the director of the ADWR and are subjected to review every five years.²⁶² Water conservation plans must be designed to 'increase the efficiency of the water system, reduce waste and encourage consumer water conservation efforts' in order to meet the specific needs to of the community water system.²⁶³ They are also required to include both demand and supply management measures.²⁶⁴ CWCs are also required to report annually to the ADWR.²⁶⁵

The guidance document that was prepared by the director of the ADWR to assist CWCs with the preparation of their water system plans states the following with respect to community involvement:²⁶⁶

Water systems should include customers as key stakeholders in the plan development process to facilitate understanding and involvement. [p 14]

Community awareness and support is vital to the success of any conservation program. The most successful conservation programs are ones that are designed specifically for the local community; what works in one community may not work in another area where lifestyles and water use habits are different. A water system designing a conservation program for the first time should begin with programs that are affordable, easy to implement, and have a proven or high rate of success for water savings. [p16]

In a paper considering what influences the uptake of climate information use in water management, Kirchoff, Lemos and Engle found with respect to Arizona's CWCs that the planning requirements (which were introduced in 2005) did less to encourage the uptake of climate information use by water managers than did the existence of water managers' pre-existing relationships with boundary organisations involved in the dissemination of climate information.²⁶⁷

Capacities to deliver governance objectives

The legislation confers a wide range of powers on the director of the ADWR to carry out the ADWR's functions. These include, for example, discretionary powers to formulate plans and develop programs, to investigate works, plans or proposals, to collect and investigate information, to measure, survey and investigate water resources, to deal with property, to accept grants, gifts or donations, to enter into

²⁶⁰ A.R.S. § 45-341(3) (2005).

²⁶¹ A.R.S. § 45-341(1) (2005).

²⁶² A.R.S. § 45-342 (2005).

²⁶³ A.R.S. § 45-342(J) (2005).

²⁶⁴ A.R.S. § 45-342(J) (2005).

²⁶⁵ A.R.S. § 45-343 (2005).

²⁶⁶ Arizona Department of Water Resources, *System Water Plan Guidance Document* (11 August 2006) available at [<http://infoshare.azwater.gov/docushare/dsweb/Get/Document-10017/SystemWaterPlanGuidancefinal.pdf>]. This document is required to be prepared by the director of the Arizona Department of Water Resources pursuant to A.R.S. § 45-342(M) (2005).

²⁶⁷ Christine J Kirchoff, Maria Carmen Lemos and Nathan L Engle, 'What influences climate information use in water management? The role of boundary organizations and governance regimes in Brazil and the U.S.' (2013) 26 *Environmental Science & Policy* 6, 11.

interagency contracts and to conduct prosecutions.²⁶⁸ The director is also required to be responsible for the supervision and control of reservoirs and dams in Arizona, to coordinate and confer with a number of other state-based agencies (such as the state land department, department of health services and AMA water authorities), to maintain a public depository of records of stream flow, groundwater levels and water quality, and to investigate and take action with respect to complaints made about water withdrawals that may violate the law.²⁶⁹

As discussed earlier, the work of Elinor Ostrom on common pool resource theory suggests that successfully managed common pool resources (such as groundwater basins or irrigation districts) are typically characterised by local-level (user designed) frameworks where the role of the State is principally limited to oversight and facilitation. The role of State in water management in Arizona goes beyond this.

As explained above, the 'Assured and Adequate Water Supply Program' is considered by Jacobs and Holway to be the 'most effective regulatory tool' that is available to AMAs.²⁷⁰ Monica Green and Anne Castle conducted a comparative assessment of similar programs across the western states of the U.S.²⁷¹ and found Arizona to be 'one of the most comprehensive water supply programs addressing both urban growth and rural planning – at least within the AMAs'.²⁷² Rhett Larson and Brian Payne, in a paper discussing the relationship between stream adjudications and the Groundwater Management Act in Arizona, state that the Assured Water Supply rules 'provide some flexibility' for AMAs to meet their management goals (e.g. 'safe yield')²⁷³ but that the program has been criticised in light of expected ongoing drought conditions because it relies on groundwater users having access to excess Colorado River water in lieu of groundwater.²⁷⁴

Larson and Payne also explain that the way in which Arizona's groundwater and surface water law remains separate despite often being hydrologically connected (and at times being one and the same) creates conflicts between holders of groundwater rights and holders of surface water rights.²⁷⁵ Such conflicts can potentially create problems for thousands of individuals, subdivisions and businesses.²⁷⁶ They suggest that one possible solution to this issue would be to enact meaningful reform that's that clarify water rights.²⁷⁷ The use of clearly defined boundaries (i.e. rights to withdraw water) is one of Elinor Ostrom's design principles for successful, long-enduring management of common pool resources.²⁷⁸

Brazil

Unlike Arizona, Brazil employs a system of water governance that is formally decentralised and participatory. This system, which adopts the river basin as the main unit of management, was initiated in the early 1990s

²⁶⁸ A.R.S. § 45-105(A) (2018).

²⁶⁹ A.R.S. § 45-105(B) (2018)

²⁷⁰ Katherine L Jacobs and James M Holway, 'Managing for sustainability in an arid climate: lessons learned from 20 years of groundwater management in Arizona, USA' (2004) 12 *Hydrogeology Journal* 52, 62.

²⁷¹ Arizona, California, Colorado, Idaho, Montana, Nevada, New Mexico, Oregon, Utah, Washington and Wyoming.

²⁷² Monica Green and Anne Castle, 'Assured Water Supply Laws in the Western States: The Current State of Play' (2017) 28(1) *Colorado Natural Resources, Energy and Environmental Law Journal* 67, 81, 90.

²⁷³ Rhett Larson and Brian Payne, 'Unclouding Arizona's Water Future' (2017) 49(0465) *Arizona State Law Journal* 465, 486.

²⁷⁴ Rhett Larson and Brian Payne, 'Unclouding Arizona's Water Future' (2017) 49(0465) *Arizona State Law Journal* 465, 486-487.

²⁷⁵ Rhett Larson and Brian Payne, 'Unclouding Arizona's Water Future' (2017) 49(0465) *Arizona State Law Journal* 465, 488.

²⁷⁶ Rhett Larson and Brian Payne, 'Unclouding Arizona's Water Future' (2017) 49(0465) *Arizona State Law Journal* 465, 489.

²⁷⁷ More specifically, Larson and Payne suggest the reforms that would (a) enact a state water escrow (deed) to improve water markets and encourage conservation and environmental flows, (b) create regional water mitigation authorities to facilitate resolution of disputes and clarify water rights or (c) introduce specialised water courts to expeditiously and expertly resolve water right adjudications: see Rhett Larson and Brian Payne, 'Unclouding Arizona's Water Future' (2017) 49(0465) *Arizona State Law Journal* 465, 496..

²⁷⁸ Elinor Ostrom, *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action* (Cambridge University Press, 1990) 90.

and has been entrenched in federal Brazilian law since 1997.²⁷⁹ Different states and basins approach water governance in slightly different ways, but central to the approach in all basins are River Basin Committee (RBCs) which are made up of representatives from civil society, water users and government.

Governance objectives

Paulo August Cunha Libanio, in his paper which looks at the potential use of goal-orientated strategies in Brazil's water governance model (as a way of improving positive outcomes), describes the motivations for Brazil's current model as follows:²⁸⁰

Only in the 1980s did social demands for more accountable and legitimate water governing processes finally come to the surface, in tune with the grass-roots movements that preceded the restoration of democracy in Brazil. The surge of democratic fervour brought about new opportunities for discussing and testing new forms of collaborative water governance. Prominent non-state actors like the Brazilian Association of Water Resources championed a series of public debates across the country, calling for citizen participation and decentralized water management.

Governance institutions and designs

The Brazilian federal constitution of 1988 and the state constitutions of 1989 included specific provisions related to water governance which, according to Libanio, allowed the passage of new state-level legislation that advanced water policies in the early 1990s.²⁸¹ Bottom-up water governance thus began at the state level with the state water policies and administrative structures.²⁸² In 1997, Brazil's federal water legislation, the National Water Act (Federal Law 9.433/1997) was promulgated. It enacted the National Water Resources Management Policy and created the National Water Resources Management System (known as SINGREH).²⁸³ The 1997 Act also created Brazil's National Water Agency, Agência Nacional de Água (ANA).²⁸⁴ Libanio summarises the National Water Act as follows:²⁸⁵

Brazil's 1997 National Water Act incorporated most of the provisions established by previous state water policies, enshrining new principles for water resources management nationwide. It established, among other things: a decentralized administrative structure and planning based on watersheds; a decision-making process open to the participation of non-state actors; a publicly controlled system of water rights in which water permits are issued by national and state public authorities; and a set of criteria for allocation of water resources based on policy principles and planning priorities.

²⁷⁹ Christine J Kirchhoff, Maria Carmen Lemos and Nathan L Engle, 'What influences climate information use in water management? The role of boundary organizations and governance regimes in Brazil and the U.S.' (2013) 26 *Environmental Science & Policy* 6, 8.

²⁸⁰ Paulo Augusto Cunha Libanio, 'The use of goal-orientated strategies in the building of water governance in Brazil' (2014) 39(4) *Water International* 401, 402.

²⁸¹ Paulo Augusto Cunha Libanio, 'The use of goal-orientated strategies in the building of water governance in Brazil' (2014) 39(4) *Water International* 401, 403.

²⁸² Paulo Augusto Cunha Libanio, 'The use of goal-orientated strategies in the building of water governance in Brazil' (2014) 39(4) *Water International* 401, 403.

²⁸³ Paulo Augusto Cunha Libanio, 'The use of goal-orientated strategies in the building of water governance in Brazil' (2014) 39(4) *Water International* 401, 403.

²⁸⁴ ²⁸⁴ Christine J Kirchhoff, Maria Carmen Lemos and Nathan L Engle, 'What influences climate information use in water management? The role of boundary organizations and governance regimes in Brazil and the U.S.' (2013) 26 *Environmental Science & Policy* 6, 8.

²⁸⁵ Paulo Augusto Cunha Libanio, 'The use of goal-orientated strategies in the building of water governance in Brazil' (2014) 39(4) *Water International* 401, 403.

The institutional framework of SINGREH is three-tiered: federal, state and basin. Reportedly inspired by the French experience (albeit prior to subsequent impacts in France of the European Water Framework Directive), at the basin-level water management is undertaken by river-basin committees (RBCs).²⁸⁶ RBCs have tripartite membership that generally represents users, organised sectors of civil society and the public sector. According to Christine Kirchoff et al, the responsibilities of RBCs can vary considerably across basins, but include things such as designing and implementing bulk water permit and charging systems, approving river basin management and water zoning plans, and facilitating conflict resolution among water users.²⁸⁷

As of 2009, more than 140 RBCs had been formally set up in basins of varying sizes (some the size of municipalities, others covering parts of multiple states).²⁸⁸ While RBCs are now part of a water reform process that has progressed through legislation, they began as decentralised and fragmented organisations which historically ‘implemented their own policies with little coordination’.²⁸⁹ Rebecca Abers and Margaret Keck summarise the effect of institutionalising the role of RBCs:²⁹⁰

Although the new laws granted the river-basin committees substantial powers, this was not, strictly speaking, a case of devolution. The committees’ roles were not based on the transfer of pre-existing powers but rather the creation of a hitherto non-existent capacity to coordinate among multiple water uses.³⁵ The reform’s motivation was thus primarily instrumental; its designers hoped that the basin committees could promote policy efficacy in a field plagued by disorganization. But many reformers also had democratizing aims. By including civil-society organizations and such public agencies as health and environmental protection departments in the design of basin committees, these actors sought to draw attention to water’s social and environmental roles as well as its “productive” uses.

According to Abers and Keck, RBCs were to be financed through bulk water charges on public or private entities that extract water or that pollute water.²⁹¹ The charges were to be set by the RBCs for each type of user in the basin.²⁹²

A weakness of the RBC regime, as identified by Abers and Keck, is that while RBCs are able to make decisions, they do not have any power to compel governments to enforce those decisions. Further, while RBCs are often responsible for river-basin planning, Abers and Keck state that there are usually either no sanctions for governments that do not comply with RBC-created plans, and that in states where law requires that official projects be approved by RBCs, governments in the past have opted either to marginalise RBCs or bypass them in respect of water management decision-making.²⁹³

²⁸⁶ Paulo Augusto Cunha Libanio, ‘The use of goal-orientated strategies in the building of water governance in Brazil’ (2014) 39(4) *Water International* 401, 403 citing M Porto, ‘The Brazilian water law: A new level of participation in decision making’ (1998) 14(2) *International Journal of Water Resources Development* 175.

²⁸⁷ Christine J Kirchoff, Maria Carmen Lemos and Nathan L Engle, ‘What influences climate information use in water management? The role of boundary organizations and governance regimes in Brazil and the U.S.’ (2013) 26 *Environmental Science & Policy* 6, 8.

²⁸⁸ Rebecca Neaera Abers and Margaret E. Keck, ‘Mobilizing the State: The Erratic Partner in Brazil’s Participatory Water Policy’ (2009) 37(2) *Politics and Society* 289, 297.

²⁸⁹ Rebecca Neaera Abers and Margaret E. Keck, ‘Mobilizing the State: The Erratic Partner in Brazil’s Participatory Water Policy’ (2009) 37(2) *Politics and Society* 289, 297.

²⁹⁰ Rebecca Neaera Abers and Margaret E. Keck, ‘Mobilizing the State: The Erratic Partner in Brazil’s Participatory Water Policy’ (2009) 37(2) *Politics and Society* 289, 297.

²⁹¹ Rebecca Neaera Abers and Margaret E. Keck, ‘Mobilizing the State: The Erratic Partner in Brazil’s Participatory Water Policy’ (2009) 37(2) *Politics and Society* 289, 298.

²⁹² Rebecca Neaera Abers and Margaret E. Keck, ‘Mobilizing the State: The Erratic Partner in Brazil’s Participatory Water Policy’ (2009) 37(2) *Politics and Society* 289, 298.

²⁹³ Rebecca Neaera Abers and Margaret E. Keck, ‘Mobilizing the State: The Erratic Partner in Brazil’s Participatory Water Policy’ (2009) 37(2) *Politics and Society* 289, 298.

Capacities to deliver governance objectives

Abers and Keck analysed the role of the State in relation to RBCs in four Brazilian river basins: the Alto Tietê and the Litoral Norte Basins in the state of São Paulo, the Itajaí Basin in Santa Catarina and the Velhas Basin in Minas Gerais.²⁹⁴ They conclude from this analysis:

The cases just presented suggest that viewing participatory governance from the standpoint of authenticity of representation and deliberative capacity—or ability to exercise prerogatives devolved on them by central authorities—may be insufficient. In three out of the four cases discussed previously, instead of participants deliberating over programs and authorizing their executive agencies to exercise devolved power, water committees spent years engaged in creating the conditions necessary to do those things. They were busy creating the capacity, in the state as well as in civil society, to recognize and promote the public interest. In a sense, what was devolved to these committees was not the power to make and implement policy but a license to accumulate the power to do so. The exception, in the case of the Alto Tietê, is especially telling: Where that power *was* fully present in the state, the committee quickly reached an impasse. In the absence of the water charges that would have given the committee an independent funding stream with which to undertake coordinated activities, existing state agencies saw it as detracting from their abilities to accomplish tasks they set for themselves. Civil-society organizations soon recognized the futility of trying to activate the committee and concentrated on making FEHIDRO funds more available. The subcommittees, in which coordination among local actors at smaller scales of operation was more effective, did continue to function. Only more recently, with a change in the state government, has the situation begun to improve. [p 308]

...

In the end, our study suggests that the literature on participatory governance needs to pay attention to a set of factors that have not traditionally been a part of the discussion. Although democracy has to do with decentralizing power, it also has to do with creating institutions that promote the public interest. Participation is supposed to guarantee that a broad range of social and environmental concerns guide state actions. But the structure of the Brazilian state is not favourable to such guidance. It is organized in a way that benefits a small set of elites and creates multiple opportunities for the appropriation of public resources for private ends. This privatization results not just from a lack of voice on the part of most social groups but also from institutional fragility. Sectoral fragmentation, disorganized or non-existent information, and lack of enforcement all make it easier for private interests to usurp the public. In this context, the problem is not just devolving power from the state but also building it within the state at the same time as decision making is made more transparent, accountable, and inclusive. This is particularly important with regard to Latin America, where the legacy of authoritarian regimes left an assumption that the problem for democratization is always to balance state preponderance, without recognizing the problems caused by its pervasive absence. In sum, if our objective is to theorize democratization, we need to reconnect process and results, recognizing that democratic decision making must produce results, and not merely more talk, or as Dewey would have it, recognizing the public by its consequences. [p 310]

²⁹⁴ Rebecca Neaera Abers and Margaret E. Keck, 'Mobilizing the State: The Erratic Partner in Brazil's Participatory Water Policy' (2009) 37(2) *Politics and Society* 289.

This analysis demonstrates that while participatory water governance models such as Brazil's may appear ideal on paper, this does not necessarily mean that that is how they will play out in practice.

Interest in the Brazilian model of water governance has led to numerous analyses of its effectiveness across different states. The below table (Table 2) provides some such (English language) examples. Generally, these analyses suggest that water governance in Brazil still has a long way to go. This is also the view of the OECD, which has published a Policy Brief identifying that the following challenges need to be addressed in order to fully reap the economic, social and environmental benefits of Brazil's water governance model:²⁹⁵

1. Weak water management plans (due to implementation and absence of set priorities and absence of clear criteria for allocation decisions).
2. Decisions made at federal and state levels are not mutually reinforcing.
3. The National Water Council has not fully embraced its cross-sector co-ordination role.
4. The level of representation of ministries is not sufficient to trigger real consensus and decisions on strategic issues.

Tabla 26. Examples of English language publications analysing the effectiveness of Brazil's water governance regime.

Author(s)	Title	Citation	States/basins considered
Abers, Rebecca Neera	'Organizing for governance: Building collaboration in Brazilian River Basins'	(2007) 35(8) <i>World Development</i> 1450	Minas Gerais (Velhas Basin); Santa Catarina (Itajaí Basin)
Abers, Rebecca Neera and Margaret E. Keck	'Mobilizing the State: The erratic partner in Brazil's participatory water policy'	(2009) 37(2) <i>Politics and Society</i> 289.	São Paulo (Alto Tietê Basin and Litoral Norte Basin); Santa Catarina (Itajaí Basin); Minas Gerais (Velhas Basin)
Bohn, Noemia and Willian Jucelio Goetten	'Groundwater governance in the states of São Paulo, Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul: An analysis from the instruments of the National Water Resources Policy'	Conference Paper. 2015 Ninth International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems	São Paulo; Paraná; Santa Catarina; Rio Grande do Sul
Kirchhoff, Christine J., Maria Carmen Lemos and Nathan L Engle	'What influences climate information use in water management? The role of boundary organizations and governance regimes in Brazil and the U.S.'	(2013) 26 <i>Environmental Science and Policy</i> 6	Ceara' (Jaguaribe-Banabuiú Basin); Santa Catarina (Itajaí Basin)

²⁹⁵ OECD, 'Water: Improving Water Resources Governance' (Brazil Policy Brief, November 2015) available at [<https://www.oecd.org/cfe/regional-policy/OECD-Policy-Brief-Brazil-Water-EN.pdf>].

Author(s)	Title	Citation	States/basins considered
Libanio, Paulo Augusto Cunha	'The use of goal-oriented strategies in the building of water governance in Brazil'	(2014) 39(4) <i>Water International</i> 401	n/a
Ribeiro, MAFM, ZMCL Vieira and MR Robeiro	'Participatory and decentralized water resources management: challenges and perspectives for the North Paraíba River Basin committee – Brazil'	(2012) 66(9) <i>Water Science & Technology</i>	Paraíba (North Paraíba Basin)
Siegmund-Schultze, Marianna et al	'Paternalism or participatory governance? Efforts and obstacles in implementing the Brazilian water policy in a large watershed'	(2015) 48 <i>Land Use Policy</i> 120	São Francisco River Basin
Taddei, Renzo	'Watered-down democratization: modernization versus social participation in water management in Northeast Brazil'	(2011) 28 <i>Agriculture and Human Values</i> 109	Ceará (Jaguaribe Valley)

New Zealand – Canterbury

New Zealand's conceptual approach to water governance is based on that of integrated water management, under a decentralised system engaging with local stakeholders and Maori representation, but without an overt water market trading system. In particular, under New Zealand's *Resource Management Act 1991* (RMA)²⁹⁶, the control and management of natural and physical resources is devolved to regional councils.²⁹⁷ Councils are typically elected by regional populations and have authority to develop regional policy and plans (and arguably even participatory water initiatives) to promote the sustainable management of natural and physical resources and to govern their use, development and protection. The Canterbury region, in which our case study is based, is characterized by low rainfall plains on the eastern, coastal side and a high rainfall mountain range on the western side, with winter snow and some glaciers in the southern parts.²⁹⁸ Water flows west to east from mountain streams, rivers and groundwater systems. The short, steep rivers rise rapidly following rainfall.²⁹⁹ The eastern lower hills and plains are dominated by agriculture on privately owned farms, including sheep, beef, dairy and crops, that rely on large scale irrigation and bores. Canterbury accounts for 20% of New Zealand's agricultural land. There is also forestry and Māori land. Canterbury's

²⁹⁶ P A Memon and B J Gleeson, 'Towards a new planning paradigm? Reflections on New Zealand's Resource Management Act' (1995) 22 *Environment and Planning B: Planning and Design* 109; N Gunningahm, 'Innovative Governance and Regulatory Design: Managing Water Resources' (Landcare Research, 2008) 22.

²⁹⁷ *Resource Management Act 1991* (NZ) s 30.

²⁹⁸ <https://www.niwa.co.nz/our-science/climate/publications/regional-climatologies/canterbury>

²⁹⁹ Sarah Mager and Sophie Horton 2018 "The Hydrology of Southern New Zealand" in *Riverscapes*, pp 17-30.

population is over 500,000, with approximately 7% Māori, and has the second highest income level in New Zealand.

Governance objectives

The RMA requires Councils to recognise and provide for the relationship of the indigenous Māori with the environment, and to take into account the principles of the Treaty of Waitangi (hereinafter the Treaty).³⁰⁰ In practice, this obligates Councils when exercising functions and powers under the RMA to consult with representatives of tribal collectives that hold customary authority over regional areas. This obligation was augmented by the introduction of the *Local Government Act 2002* (hereinafter the LGA) which requires councils to facilitate the participation of Māori in local government decision-making processes.³⁰¹

In addition to consulting with Māori, the LGA provides Councils with a direct mandate for participatory experimentation. A form of “outcome-based” legislation, the LGA expressly requires councils to achieve sustainable development (as defined by community outcomes)³⁰² through government, industry and community collaboration, and these can be used in tandem with the provisions for regulating sustainable management under the RMA.³⁰³

Within this system, the RMA regulatory framework is still the dominant mode of governance, particularly at the regional and project level. But following their LGA mandate, some Councils, such as Environment Canterbury (ECan), which is used as a case study in this section, have been exploring innovative participatory models. The Canterbury region contains 70% of New Zealand’s irrigated land.³⁰⁴ ECan continues to employ a spectrum of regulatory tools that range from voluntary and non-statutory approaches to prosecution and regulatory plans.³⁰⁵ However, it has also “been developing a model of collaborative community engagement to complement the adversarial effects-based statutory requirements”.³⁰⁶ This collaborative approach increasingly occurs within a ‘nested system’ of governance and is designed to address issues at the smallest geographical scale relevant to the water issue (e.g. catchment boundary) and the stakeholders who have an interest in it.³⁰⁷ This model reflects principles of “decentralisation”, “participatory processes” and “mutual learning and decision”.³⁰⁸ Below we focus on one recent participatory model that has had some reported success in managed water.

³⁰⁰ The Treaty sets a framework in relation to resource ownership – both in terms of the treaty itself and in relation to the iwi or hapū’s customary authority exercised in an identified area incorporated in the Resource Management Act 1991, ss 6, 8. The Canterbury region lies in the area of one tribe, the Ngāi Tahu. The Ngāi Tahu are the iwi comprised of Ngāi Tahu whānui. Environment Canterbury [ECan] *Natural Resources Regional Plan* (ECan, Christchurch, 2007) at 2-2; Ngāi Tahu Claims Settlement Act 1998.

³⁰¹ Local Government Act 2002, ss 4, 14, 81.

³⁰² Local Government Act 2002, ss 10, 14, 77–81, 91; Kenneth Palmer “Local Government Law and Resource Management” (2004) NZ Law Review 751 at 752–756

³⁰³ Bryan Jenkins *Canterbury Strategic Water Study: Briefing Document to Canterbury Mayoral Forum* (ECan, Christchurch, 2007) at 2; Local Government Act 2002, ss 10, 14, 76–81, 91, 92.

³⁰⁴ Canterbury Mayoral Forum, *Canterbury Water Management Strategy, Strategic Framework* (2009) 23.

³⁰⁵ For example, at the catchment level there is a spectrum of nonstatutory plans (such as the Orari catchment plan), nonstatutory plans with key elements being given statutory backing (such as the Greater Christchurch Urban Development Strategy) and regulatory plans (such as the Natural Resources Regional Plan). For further see Bryan Jenkins “Are Regional Councils Past Their Use-by Date?” (paper presented to *Environmental Defence Society National Conference*, Auckland, June 2009).

³⁰⁶ Bryan Jenkins, *ECan’s approach to water management* (2008) Canterbury Public Issues Forum <<http://forums.e-democracy.org/groups/canterburyissues>>.

³⁰⁷ Canterbury Mayoral Forum, above, 9.

³⁰⁸ *Ibid.*

Governance institutions and designs

With the above frameworks, one increasingly prominent form of participatory water governance approach at a local geographical scale in Canterbury is Audited Self Management (ASM). This focuses on, among other things, issues of water quantity management. Instead of the individual licence requirements and ECan monitoring actions of individual farmers (as in the traditional RMA system), collaborative groups control the behaviour of their members and monitor activities themselves (the self-management aspect), and report to the independent third party and the regulator on achievement of agreed goals (the audit aspect).³⁰⁹ The primary motivation of the ASM approach is to give greater ownership, control and flexibility of water management to the farmers themselves, at the same time as improving monitoring and compliance. These twin objectives are consistent with the principles of co-regulation.

While ASM can take many different forms, participation is an essential feature of this approach.³¹⁰ This involves farmers voluntarily coming together to form a collaborative group (typically a formal legal entity such as an irrigation collective) that self manages and monitors their cumulative water use and environmental effects on the local water system.³¹¹ Through this group, farmers are transferred day-to-day water management and compliance responsibilities under terms and conditions agreed upon with ECan. These conditions include a mix of performance, prescription and process standards.

Prior to this ASM, the RMA regulatory approach imposed individual performance standards in the form of specific water allocations. Under ASM, a performance standard remains the order of the day. What has changed is that this standard is now a *collective* standard. In effect, ASM has applied a 'bubble licence' whereby the group collaboratively pool together their existing water allocations and sets water quantity goals for their shared aquifer or catchment.

Beyond performance standards and bubble licences, ASM also hinges on another crucial regulatory standard, in this case a prescription standard. Under New Zealand's resource management reforms, landholders are legally obliged to install water meters (at a substantially subsidised rate) to accurately measure water extraction.³¹² In the case of ASM, this requirement is extended to include telemetered meters and a robust real time data monitoring system. The intention is to collate individual extractions and make this data available to *all landholders* within the collaborative water user group *in real time*. The government, in turn, can access real-time data on the ASM *group's* water use, measured against their collective performance standard (bubble licence).

In addition to performance and prescription standards, ASM also employs a form of process standard whereby collaborators are required to develop management rules, are subject to third party audits of the collective's compliance with these rules, as well as the group periodically reflecting and improving on the overall management process and performance goals. It is also worth noting that the ASM model is likely to

³⁰⁹ A Curtis and T Heiler, 'Developing Audited Self-Management Systems', NZARM Conference, Christchurch 21-23 September, 2010.

³¹⁰ The ASM approach is being explored in Canterbury as well as in national discussions in New Zealand. For discussions nationally, see Land and Water Forum, *Report of the Land and Water Forum: A Fresh Start for Fresh Water* (2010) 26; Land and Water Forum, *Third Report of the Land and Water Forum: Managing Water Quality and Allocating Water* (2012) 93-94; Irrigation NZ, *Workshop Report, Building Knowledge and Understanding of Audited Self-Management* (2011) <<http://www.irrigationnz.co.nz/assets/Uploads/001-INZ-Audited-Self-Management-14-8-11.pdf>>. In Canterbury, the pursuit of ASM has been spurred by the development of Canterbury Water Management Strategy (the Strategy), a collaborative governance approach that established vision, principles and mechanisms for sustainably managing water resources in the region. One key mechanism under the strategy is ASM. See Canterbury Mayoral Forum, above n 37, 34, 43. The Strategy itself is non-binding, although ECan is required to have regard to its vision and principles in decision making under the *Environment Canterbury (Temporary Commissioners and Improved Water Management) Act 2010* (NZ) ss 34, 50, 63. For further on the Strategy see Bryan Jenkins, Shona Russell, Barry Sadler and Martin Ward, 'Sustainability appraisal of water management strategies for Canterbury', *SEA Implementation and Practice: Making an Impact?* Prague, Czech Republic 21 - 23 September 2011.

³¹¹ Irrigation NZ, above, 3-4.

³¹² *Resource Management Act 1991* (NZ) s 360(1)(d); *Resource Management (Measurement and Reporting of Water Takes) Regulations 2010* (NZ) reg 6.

be expanded to include other process and performance-based standards (such as farm management plans addressing nutrient use) in addition to its conventional focus on water extraction limits.³¹³

While the ASM model is voluntary, ECan has the capacity to draw on the RMA to harness available regulatory pressure as an incentive to get stakeholders to come to the ASM table and genuinely collaborate. For example, under the conventional regulatory framework of the RMA, when statutory levels of water use or water quality (e.g. nitrogen) are exceeded because of on-farm actions, ECan can inspect, enforce and carry out a prosecution or take other disciplinary measures.³¹⁴ While ECan still relies substantially on its regulatory powers, persuading farmers to come to the collaborative ASM table (albeit under ‘the shadow of the law’) is intended to reduce government compliance costs and encourage continuous improvement.³¹⁵ To this end, ASM’s approach to co-regulation sees water user groups assuming a compliance and enforcement role, while reserving the right to call in ECan if an individual persistently undermines the collective target, and fails to respond to the collaborative group’s compliance actions.

Capacities to deliver governance objectives

A chief attraction of ASM’s performance standard is that it afforded additional flexibility to allocations and users operating within ‘the bubble’. In particular, under ASM, members are able to negotiate with each other as to the precise distribution of water (over an annual allocation period) between individual landholders. This reportedly provided flexibility to accommodate individual, temporal circumstances (for example, different crop needs, and different cash flows) not possible under conventional performance standards. In this respect, there are parallels to be drawn with the attraction of market-based policy instruments (such as used in Australia). In the case of the ASM bubble licence, this efficiency is achieved not through the market, but rather through negotiation and cooperation within and between the industry water user group membership. In either case, the underlying benefit is that it is landholders themselves, not government regulatory officials, who make judgements about their individual circumstances and need for subsequent allocations within an overarching collective performance standard.

The ASM model also reportedly achieved a number of significant improvements to compliance and enforcement. For example, an inherent advantage of ASM’s water user groups was that it provided the regulator with an established and convenient entity through which to communicate (and educate) on water related compliance issues.³¹⁶

However, a far more significant set of advantages arose from ASM’s prescription standard and its requirement for water user groups to install telemetry, water meters and centralised databases. Telemetry and database in small pilots reportedly allowed its members to see precisely how much and when other members had extracted water. Under this approach, individual landholders not only had confidence that other landholders were abiding by collective agreements, but, crucially, where one or more landholders were found to be flouting such agreements, they were in a strong position to place peer pressure on them to comply, or risk breaching the collective bubble licence allocation. Every member can go in to the real-time data website and see what their neighbours are doing and if they go over their entitlements.³¹⁷

While individuals can access real time extraction data of other group members, ECan has only restricted access to the *collective* extraction data. This is consistent with the philosophy and practice of the

³¹³ Judith Earl-Goulet, ‘Audited Self Management at Environment Canterbury: The current approach’ (ECan, 2011).

³¹⁴ *Resource Management Act 1991* (NZ) s 30.

³¹⁵ *Resource Management Act 1991* (NZ) s 30; Canterbury Mayoral Forum, above, 43.

³¹⁶ Interview NZ1, Regulator.

³¹⁷ Interview NZ2, Farmer.

performance standard – so long as the collective allocation is complied with, it is of no concern to government regulatory authorities as to how much individual landholders extract.

From the perspective of the regulator, this new data (facilitated by the prescription standard) still had considerable benefits. First, by stepping back from a day-to-day enforcement role, and accessing real time data, the regulator could allocate scarce regulatory resources to where they are most needed.³¹⁸

Second, its access to collective data in real time allowed it to identify instances of over-use as they occur. This had the distinct advantage of facilitating a more responsive enforcement approach that could reduce the risk of further breaches.³¹⁹

However, the effective operation of this new responsive role required a shift in thinking and practice on the part of the regulator, such that it was willing to take a substantial step back from conventional regulatory oversight, only to intervene at the request of the ASM water user group or in the event of a major transgression of the collective ASM water allocation.³²⁰

The ASM experience in Canterbury also highlights the high degree of ‘ownership’ afforded participants in the program. This in turn generated a collective commitment to ensuring the success of the scheme. The findings from Canterbury suggest there are two key factors in generating this ownership and policy buy-in. First, the collaborative nature of ASM and its process standard empowered farmers to engage in face-to-face meetings and negotiations that fostered working relationships and gave them a specific say over how water should be managed in their area. This helped to facilitate greater buy-in from water users into the governance decisions being taken, without farmers feeling overwhelmed by large external institutions.

Notably, the fact that most ASM experiences have been based around existing irrigation schemes appeared to ensure participants had a base level of pre-existing trust and/or reciprocity that made it ‘easier’ to engage in this process of collaboration. It is also important to acknowledge that comparisons between pilots suggest achieving buy-in was substantially more complicated where ASM was used in larger scales and involved greater numbers of participants. Second, the ASM model gave participants control over day-to-day decision making about their water extractions – this allowed them to plan ahead and take actions confident in the knowledge that they could overcome any short-term fluctuations in their water demand through internal ASM arrangements. Again, this reinforced farmer buy-in into the water governance process, and was reported to instil new stewardship ethics by shifting minds away from complying with licenses or consents to encouraging ownership of the water (that is, it was no longer seen as the government’s water but the farmers’ water).³²¹

A major challenge of ASM, however, was the prescription standard required the funding (both upfront capital and ongoing operation) of metering, telemetry and a database system, the financial burden of which was borne by the farmers. On the one hand, the findings suggested that ASM can provide an ideal opportunity to kick-start the adoption of sophisticated metering and telemetry for low costs. For example, some ASM groups used its members’ bulk purchasing power to obtain the technology for a discount. On the other hand, the upfront and ongoing costs to farmers were seen to be difficult, including outsourcing data base management to a commercial information technology operation and purchasing new telemetry systems. Mindful that ASM is voluntary in nature, these costs may pose barriers to individual farmers who otherwise see such expenses as outweighing the benefits of ASM. In this context, it is also important to note that ASM costs include more

³¹⁸ Interview NZ1, Regulator.

³¹⁹ Interview NZ4, Regulator.

³²⁰ Interview No. NZ3, Farmer.

³²¹ Interview NZ7, Farmer.

than just technology, but also paying for license/consent amalgamations, and the transaction costs (e.g. time and travel to meetings) of establishing/maintaining a management structure.

A second challenge inherent to ASMs participatory approach and its process and performance standards, was a shift in thinking and practice on the part of the regulator (discussed above) and the adoption of new roles by regulated farmers (e.g. who contribute to new management processes, targets and facilitating compliance). Concern has been raised about an increased risk of capture. This was particularly the case with NGOs, who reportedly saw the regulator becoming too 'cozy' with farmers. Addressing this involved utilising an independent auditor. Auditors are common to process based standards, and are vital to ensuring reliable data reporting and process integrity. However, many respondents were sceptical of the auditor's current capacity to achieve these goals, in part from the fact that ASM was in its early stages, with respondents doubting that: (i) commercial operators currently had sufficient skills and capacities to credibly fulfil the new auditor role;³²² and (ii) ECan had little experience 'auditing the auditors' so as to otherwise avoid 'cosmetic compliance'.³²³

A final weakness of ASM arose from the demanding conditions needed for it to work successfully in practice. For example, ASM's process and prescription standards required irrigators to have the necessary capacity/skills to use new software and technology. Absent any form of training, queries have been raised about the experience of farmers to meet these demands.³²⁴ ASM's voluntary collaborative approach also hinges on farmers willingness to genuinely collaborate in ASM and has some groups have faced challenges were seeking to engage with otherwise reluctant water users (who either do not accept there is a need to improve water management or view the effort involved as costly and antithetical to their economic self-interest). Certainty ASM has strategies that can be successfully employed to ensure that farmers see a benefit in ASM and agree to cooperate. For example, ECan has promoted potential benefits that could arise from participating in ASM, such as greater flexibility noted above. ECan also had recourse to a second tool, namely regulation. Most respondents suggested farmers engaged in ASM's collaborative approach to avoid the procedures and potential penalties associated with current RMA regulation (see also the discussion of California and its state regulation above). While these incentives appeared to be sufficient to bring a core group of farmers to the table to collaborate, the larger the scale of participants and water management areas where relationships are weaker may pose even greater feasibility challenges for ASM. These challenges may be exacerbated further by the presence of non-agricultural sectors, such as mining.

France

Broadly speaking, France has abundant water resources due to high precipitation, extensive river systems from numerous mountain ranges, and large volumes of groundwater stored in aquifers. France receives approximately 480,000 GL of precipitation, plus 11 billion m³ of surface water flowing in from neighbouring countries.³²⁵ The challenge confronting France is that water resources are not equally distributed throughout the country, with availability varying greatly according to the seasons. Indeed, unlike the oceanic climate

³²² Interview NZ18, Regulator.

³²³ Interview NZ21, Consultant.

³²⁴ Interview NZ18, Regulator.

³²⁵ JC Maréchal and J Rouillard, 'Groundwater in France: resources, use and management issues' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

across much of France, its Mediterranean regions in the south have a dry and changing climate, while the southwest region is often affected by droughts.³²⁶

Water management planning on the scale of the major river basins was introduced in France by the 1964 Water Act (influenced by models implemented in Germany, Barraqué et al, 2018). Under the initial Water Act, six large river basin agencies were created to promote an integrated approach to managing water resources. Core principles included: (i) integration of irrigation, sanitation, drinking water, aquatic environments and flooding; (ii) basin level sharing of financial resources to protect/restore river basin; and (iii) the participation of representatives of water users in management decisions.³²⁷ This initial structure was refined under a 1992 Water Act (and a later 2006 Act), which strengthened the agencies powers regarding planning, and created river basin management committees. They were required to produce Water Development and Management Master Plans, called *Schéma Directeurs de Gestion et d'Aménagement des Eaux* (SDAGE) in French.³²⁸ These SDAGEs were intended to build a joint action framework for all the water stakeholders in the river basin to restore and maintain the good status of the water resources and aquatic habitats.³²⁹

Governance objectives

The modern phase of water management in France has been influenced by European rules known as the Water Framework Directive. The Directive and its implementation scheme set in motion a number of informal, horizontal and stakeholder participation processes, while also initiating efforts to create more detailed legislation.³³⁰ This includes the Directive mandating a process and structure for Member State action on water quality, requiring that they achieve “good water status”, but leaving the task of defining good status and many other key terms to subsequent action by Member States and the European Commission in ways that emphasizes flexibility; adapts the regulatory program to the multi-level nature of EU governance; and mixes binding legal rules and standards with non-binding forms of cooperation, information pooling, and guidance.³³¹

Much like the earlier French Model, the Water Framework Directive planning approach focused on the river basin level, imposing several principles on France (and other EU nations). These include:

1. Promoting an integrated approach to water management issues relating to quality, quantity and the ecological quality of habitats.

³²⁶ JC Maréchal and J Rouillard, 'Groundwater in France: resources, use and management issues' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³²⁷ JD Rinaudo, P Marchet & P Billault, 'Groundwater management planning at the river basin district level: comparative analysis of the Adour-Garonne and Loire-Bretagne river basin' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³²⁸ JD Rinaudo, P Marchet & P Billault, 'Groundwater management planning at the river basin district level: comparative analysis of the Adour-Garonne and Loire-Bretagne river basin' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³²⁹ JD Rinaudo, P Marchet & P Billault, 'Groundwater management planning at the river basin district level: comparative analysis of the Adour-Garonne and Loire-Bretagne river basin' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³³⁰ D Trubek and L Trubek 'New Governance and Legal Regulation: Complementarity, Rivalry, and Transformation' (2006) 13 *Columbia Journal of European Law* 540.

³³¹ D Trubek and L Trubek 'New Governance and Legal Regulation: Complementarity, Rivalry, and Transformation' (2006) 13 *Columbia Journal of European Law* 540.

- 2). Formalised planning with the joint development of a management plan (the SDAGE in France) with a corresponding programme of measures describing the practical actions to be implemented over a six-year period,
3. Scaling and economically assessing the programme of measures guarantee that the environmental goals set out in the management plan are achieved by 2015 (with optional six to twelve-year delays).
4. Stakeholders' involvement and consultation with the public on the programme of measures and management plan.³³²

Governance institutions and designs in France

The SDAGE (and their subsequent updates) are the central instrument for aligning France with the WFD approach. After the WFD came into force, the river basin committees, made up of members of agencies and invited outside experts, that remained responsible for SDAGEs. A technical secretariat is generally managed by a French water agency and regional administrator, with scientific studies conducted by the agency's teams, consultancies or research organisations. The programme of measures is established by government services, under the authority of a government official who coordinates the basin.³³³

The WFD modified the SDAGE's content. It required a more in-depth appraisal of the initial water resource situation, including an assessment of characteristics, hydrological and hydrogeological function, as well as its qualitative and quantitative status. The appraisal identified bodies of water with a poor status (quantitative or qualitative), which then needed to be remedied by the provisions in the programme of measures.³³⁴

The SDAGEs accordingly set out major goals, key partners/implementors and rules for water management. Much like an urban planning document, they are legally binding, meaning all decisions taken by the government need to comply with the SDAGE provisions. The SDAGEs also define sub-units within their basins, which provides the jurisdictional basis for Local Water Management Plans (Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux or SAGE in French).³³⁵

Representing a nested approach to water management, the SAGEs tailor the SDAGE's broad guidelines to the local sub-basin level (e.g. lake, aquifers). The SDAGEs gave local stakeholders considerable freedom to draft the measures that were needed to achieve the basin targets and helped to facilitate local action via the provision of consistent scientific knowledge across different regions and the creation of stakeholder consultative networks.³³⁶

Like the SDAGEs, the SAGE is established by a multi-stakeholder committee, in this case involving local councillors, user representatives and state service officials. The development of the SAGE involves an initial assessment of water and environmental conditions, sets goals for the use and development of the water

³³² JD Rinaudo, P Marchet & P Billault, 'Groundwater management planning at the river basin district level: comparative analysis of the Adour-Garonne and Loire-Bretagne river basin' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³³³ JD Rinaudo, P Marchet & P Billault, 'Groundwater management planning at the river basin district level: comparative analysis of the Adour-Garonne and Loire-Bretagne river basin' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³³⁴ JD Rinaudo, P Marchet & P Billault, 'Groundwater management planning at the river basin district level: comparative analysis of the Adour-Garonne and Loire-Bretagne river basin' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³³⁵ JD Rinaudo, P Marchet & P Billault, 'Groundwater management planning at the river basin district level: comparative analysis of the Adour-Garonne and Loire-Bretagne river basin' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³³⁶ JD Rinaudo, P Marchet & P Billault, 'Groundwater management planning at the river basin district level: comparative analysis of the Adour-Garonne and Loire-Bretagne river basin' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

resources, identifies priority actions to achieve the goals, and assesses the technical and financial resources. The SAGE also sets management rules that are legally binding for the government and must be approved by the state after verifying that it is consistent with the provisions of the SDAGE. As of 2006, the SAGE rules became legally binding for third parties.³³⁷

Capacities to deliver governance objectives

In terms of the French implementation strategy, the new regional and local assessments required an increased degree of capping total abstraction and sharing of available resource among users. In many cases, the cap was lower than historical water use, meaning decision makers had to design rules to reduce historic entitlements.³³⁸ Rinaudo's assessment of these various changes in a groundwater context found that the new assessments of maximum volumes to be extracted in Basins and sub-basins led to proposed reductions of around 10 to 20% in most catchments (with some over 50% in some cases).³³⁹ To achieve this, the government cancelled all individual agricultural water use permits previously granted to each farmer and replaced them with a single aggregate permit that was attributed to a created a participatory collective known as the Water Users' Associations (called Organisme Unique de Gestion Collective or OUGC).³⁴⁰ By the end of 2016, about 30 OUGCs had been established. These bodies operated under the various SAGEs and brought together all the stakeholders that use water for agricultural purposes to prepare a plan to allocate the total volume between water users annually. To do this, they needed it devised its own set of rules (e.g. priority rules), but these had to be validated by the government administration.³⁴¹

According to Rinaudo et al³⁴² the implementation of SDAGE under the WFD had made some substantial strides, including specifying operational approaches to implement the legal framework, taking into consideration specific characteristics of each basins and the aspirations of stakeholders. Key achievements of this structured framework included:

- Increased the technical and scientific knowledge and identify sub basins where urgent action was required, which triggered action from some local water users (who previously lacked the knowledge/capacity to initiate control measures).
- Established clearer rules and defined targets for the flow rate in the major watercourses at low water levels, as well as the corresponding groundwater level thresholds for several aquifers in the river basins that have high connectivity with surface water.

³³⁷ JD Rinaudo, P Marchet & P Billault, 'Groundwater management planning at the river basin district level: comparative analysis of the Adour-Garonne and Loire-Bretagne river basin' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³³⁸ JD Rinaudo, 'Groundwater policy in France: from private to collective management' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³³⁹ JD Rinaudo, 'Groundwater policy in France: from private to collective management' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³⁴⁰ JD Rinaudo, 'Groundwater policy in France: from private to collective management' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³⁴¹ JD Rinaudo, 'Groundwater policy in France: from private to collective management' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³⁴² JD Rinaudo, P Marchet & P Billault, 'Groundwater management planning at the river basin district level: comparative analysis of the Adour-Garonne and Loire-Bretagne river basin' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

- Boosted efforts for enforcement and making water monitoring and data consistent and available throughout a region.³⁴³

Even so, there are some challenges that arose due to limited resourcing, expertise and political will. Under the WFD the SDAGE was to act as a framework to coordinate and create collaboration between different actors and public organisations.³⁴⁴ While it would ultimately achieve this goal, it was reportedly very difficult for participants to change their own planning strategies, integrate SDAGE's goals and coordinate their actions in this new way. In short, these processes of collaboration took a considerable amount of time to achieve, producing significant delays (which have also been experienced in many other European nations).³⁴⁵ Other challenges have included a tendency to compromise on targets due to political pressure, meaning in some cases it will not be possible to attain the good status of the natural environment.³⁴⁶ The assessment and management of complex unconfined aquifers also remains in an embryonic stage because the participants that develop and approve the SAGE (the local water commission and the state) reportedly lack expertise. Although some measures have been created, they have often not been enforced, in part because the agricultural sector remains hostile towards the introduction of strict rules on both surface and groundwater.

³⁴⁷

In terms of the operation and lessons from the participatory OUGC, firm insights are difficult as they only began applying their allocation rules for the first time in 2017.³⁴⁸ Certainly, there are reported benefits from having users engaged through the OUGC. Not least fostering greater buy-in to rules that can use local knowledge to adjust water distribution and accounting for the local technical and economic circumstances. Unsurprisingly, the rules OUGCs have adopted accordingly exhibit many differences, with some OUGCs managing the water as a common good (giving every new and old farmer access, with few fixed entitlements), while others impose rules on the basis of previous use.³⁴⁹

However, this arrangement has not been without controversy. Considerable opposition to “quantitative management” from the farming profession has arisen, particularly in south-western France.³⁵⁰ One of the main challenges was concern that the pooled allocation overlooked investment that individuals had previously made to access the resource. The caps on abstraction were also challenged due to doubts about science and

³⁴³ JD Rinaudo, P Marchet & P Billault, 'Groundwater management planning at the river basin district level: comparative analysis of the Adour-Garonne and Loire-Bretagne river basin' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³⁴⁴ JD Rinaudo, 'Groundwater policy in France: from private to collective management' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³⁴⁵ JD Rinaudo, 'Groundwater policy in France: from private to collective management' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³⁴⁶ JD Rinaudo, 'Groundwater policy in France: from private to collective management' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³⁴⁷ M Montginoul, JD Rinaudo, C Alcouff, 'Compliance and enforcement: the Achilles heel of French water policy' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³⁴⁸ JD Rinaudo, 'Groundwater policy in France: from private to collective management' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³⁴⁹ JD Rinaudo, 'Groundwater policy in France: from private to collective management' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³⁵⁰ JD Rinaudo, 'Groundwater policy in France: from private to collective management' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

calculation, with the ultimate values negotiated on economic and political grounds. This included the provision of subsidies (an implicit form of compensation for the reductions) to finance construction of reservoirs for storing surface water or groundwater when they are more abundant, for use later in a season.³⁵¹ Concerns have also been raised about OUCGs remaining fragile, with some suggesting if government was to modify targets for the total pool of water, the collective may disengage or dismantle.³⁵²

³⁵¹ JD Rinaudo, 'Groundwater policy in France: from private to collective management' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

³⁵² O Douez, JE du Peuty, D Lepercq and M Montginoul, 'Developing Substitution Resources as Compensation for Reduced Groundwater Entitlements: The Case of the Poitou Marshes (France)' in JD Rinaudo, C Holley, S Barnett and M Montginoul (eds) *Sustainable Groundwater Management: a comparative analysis of French and Australian policies and Implications to Other Countries* (Springer, 2019, forthcoming).

CONTACTO

t +61 3 9545 2176
e enquiries@csiro.au
w www.csiro.au

AT CSIRO, WE DO THE EXTRAORDINARY EVERY DAY

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

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

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

CSIRO. WE IMAGINE. WE COLLABORATE.
WE INNOVATE.

PARA MÁS INFORMACIÓN

Agua y Territorio, CSIRO Chile
Gabriella Bennison
e Gabriella.bennison@csiro.au
w www.csiro.au/Land&Water

Land & Water, CSIRO

Rodrigo Rojas
e Rodrigo.rojas@csiro.au
w www.csiro.au/Land&Water

Agua y Territorio, CSIRO Chile

Edmundo Claro
e Edmundo.claro@csiro.au
w www.csiro.au/Land&Water