



Vulnerability and Adaptation to Climate Variability and Change in the Maipo Basin, Central Chile

Final Technical Report

August, 2016

By:

Sebastian Vicuña, Project director

Eduardo Bustos, Project researcher

Santiago, Chile

IDRC Project Number: 107081-001

IDRC Project Title: Vulnerability and Adaptation to Climate Variability and Change in the Maipo Basin, Central Chile

Country/Region: Chile

Research Institution
Centro de Cambio Global UC, Pontificia Universidad Católica de
Chile, Chile.

Address
Av. Vicuña Mackenna 4860, Macul. Santiago, Chile.

Team Members

Centro de Cambio Global UC

Sebastián Vicuña - *Director* - svicuna@ing.puc.cl
Eduardo Bustos - *Associated Researcher* - efbustos@uc.cl
Pablo Merino - *Associated Researcher* - pimerino@uc.cl
Sebastián Bonelli - *Associated Researcher* - sjbonelli@uc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile

Agronomy and Forest Engineering School

Francisco Meza - *Professor*
Guillermo Donoso - *Professor*
Oscar Melo - *Professor*
Luca Mao - *Professor*
Sonia Reyes - *Professor*
Marina Gil – *Postdoc*
Cynamon Dobbs – *Postdoc*
Damián Tosoni – *Ph.D. Student*
Angela Hernandez – *Ph.D. Student*
Camilo Ruiz – *M.Sc. Student*
Sarah Jensen – *M.Sc. Student*
Ricardo Carrillo – *M.Sc. Student*
Francisca Salinas – *M.Sc. Student*
Melanie Oertel – *Professional*
Juan Fercovic – *Professional*
José Tomás Cumsille – *Professional*
Manuela Penas – *Professional*
Paula Vaquero – *Professional*
Camila Pavez – *Professional*

Engineering School

Jorge Gironás - *Professor*

Gonzalo Pizarro – *Professor*

José Muñoz – *Professor*

Anahí Ocampo – *Postdoc*

Lenin Henriquez – *Ph.D. student*

Camila Echeverría – *M.Sc. student*

Pedro Sanzana – *Ph.D. Student*

Cristian Chadwick – *Professional*

History, Geography and Political Science School

Cristian Henríquez – *Professor*

Tomás Usón – *Professional*

Universidad de Chile

Physics Science and Mathematics School

James McPhee – *Professor*

Yuri Castillo – *M.Sc. student*

University of Arizona

Christopher Scott – *Professor*

Sophia Borgias – *Professional*

Stockholm Environment Institute

David Purkey – *Team Leader*

Marisa Escobar – *Researcher*

Francisco Flores – *Researcher*

Charles Young – *Researcher*

This work is used with the permission of: Pontificia Universidad Católica de Chile.

Copyright 2016, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Contenido

1	Resumen.....	3
2	Problema de investigación	4
3	Objetivos	9
3.1	Objetivos específicos.....	10
3.2	Objetivo específico 1: Análisis de la estructura institucional que permita la implementación, el monitoreo y la evolución del proceso de adaptación en la cuenca.....	11
3.3	Objetivo específico 2: Identificar las vulnerabilidades y diseñar las primeras estrategias de adaptación para todos los usuarios críticos y sistemas que operan en la cuenca.....	11
3.4	Objetivo específico 3: Diseñar una herramienta de modelación que integre la oferta y demanda de agua, teniendo en cuenta elementos de calidad y cantidad de agua, bajo escenarios de variabilidad y cambio en el clima.	12
3.5	Objetivo específico 4: Generación de escenarios de adaptación a medio y largo plazo en la cuenca del Maipo.	15
4	Metodología.....	17
4.1	Metodología de trabajo con actores.....	17
4.2	Metodología de trabajo para el desarrollo de los distintos componentes del marco IDAM	19
4.3	Metodología propuesta para la implementación de medidas de adaptación.....	20
5	Actividades del proyecto	23
5.1	Actividades Objetivo 1	23
5.1.1	Configuración y actividades del Grupo de Construcción de Escenarios	23
5.1.2	Análisis de marco institucional de la adaptación	26
5.1.3	Percepción de Cambio Climático por los actores de la cuenca.....	26
5.1.4	Actividades de transferencia.....	27
5.1.5	Formación de capital humano avanzado	34
5.1.6	Comunicación y difusión del conocimiento	37
5.2	Actividades Objetivo 2	40
5.2.1	Definición concepto vulnerabilidad/indicadores de desempeño	40
5.2.2	Reuniones Sectoriales	41
5.2.3	Actividades Sector Urbano.....	41
5.2.4	Actividades Sector Agrícola.....	45
5.2.5	Actividades Sector Ecosistemas/cordillera	46
5.3	Actividades Objetivo 3	47

5.3.1	Presentación Modelo WEAP	47
5.3.2	Modelo de simulación de balance de masa de glaciares	49
5.3.3	Modelo de simulación de hidrología y operación de infraestructura hidroeléctrica en cordillera 53	
5.3.4	Modelo de producción y distribución de agua potable	56
5.3.5	Modelo de producción y distribución de agua para riego agrícola.....	58
5.3.6	Presentación avances otros Modelos	61
5.4	Actividades Objetivo 4	63
5.4.1	Generación de escenarios climáticos futuros	63
5.4.2	Generación escenarios de cambio de uso de suelo	66
5.4.3	Análisis medidas de adaptación	67
6	Productos del Proyecto (Outputs).....	72
6.1	Modelos de simulación	72
6.2	Series de datos / Escenarios futuros.....	72
6.3	Reportes	72
6.4	Publicaciones Científicas	74
6.5	Congresos.....	76
6.6	Tesis de Postgrado	81
6.7	Productos de comunicación	82
6.7.1	Página Web	82
6.7.2	Newsletter.....	83
6.7.3	Videos.....	85
7	Resultados del proyecto (Outcomes).....	87
7.1	Grupo de Construcción de Escenarios (GCE).....	87
7.2	Discusión y consolidación de un marco conceptual para el diseño de indicadores de desempeño de la cuenca.....	88
7.3	Impactos en términos de investigación	90
7.4	Impacto a nivel nacional	91
7.5	Impacto a nivel internacional.....	91
8	Evaluación General y Recomendaciones.....	93
8.1	Evaluación general y recomendaciones para el proceso de adaptación en la cuenca del Rio Maipo 93	
8.2	Recomendaciones generales para IDRC.....	94
9	Referencias.....	96

1 Resumen

Situado en el centro de Chile, el Río Maipo sirve como la fuente principal de agua para la capital del país, Santiago, una ciudad de más de seis millones de personas. Además, el río satisface las necesidades de riego de más de 140.000 hectáreas de cultivos de alto valor. La combinación de una gran demanda urbana y agrícola en conjunto con un clima semi-árido pone presiones extremadamente altas en el suministro de agua en la cuenca. Investigación previa ha demostrado que el ciclo hidrológico a lo largo de la cuenca del Maipo se espera que sea alterado significativamente en el futuro.

Debido a su sensibilidad, la cuenca del río Maipo podría sufrir serios cambios en la disponibilidad y calidad del agua debido a los aumentos previstos en la temperatura y las disminuciones en precipitación. Es probable que esto afecte no sólo la base de usuarios existente, sino que también es probable que tenga graves consecuencias para una región en la que se anticipa un elevado crecimiento demográfico en las próximas décadas. Teniendo en cuenta estos resultados, el objetivo principal del proyecto fue el articular el desarrollo de un plan de adaptación con respecto a la variabilidad y el cambio climáticos en la cuenca del río Maipo a partir del análisis de las vulnerabilidades de los diferentes tipos de usuarios del agua.

Así, el proyecto MAPA: Maipo Plan de Adaptación, se configuró como un proceso transdisciplinario que buscó sentar las bases necesarias para el dialogo entre los distintos usuarios de agua de la cuenca, el sector público y la sociedad civil, en pos de disminuir la vulnerabilidad de la cuenca en su conjunto a los impactos del cambio climático, así como de su propia variabilidad climática a partir de un trabajo colaborativo y de co-producción científica entre el equipo de investigadores y los distintos actores de la cuenca que permitió el desarrollo de múltiples herramientas de modelación, escenarios futuros para la cuenca y la identificación de vulnerabilidades particulares de cada usuario.



Keywords: climate change, adaptation, basin, Chile, coproduction, water.

2 Problema de investigación

El impacto del cambio climático en los sistemas socioecológicos puede ocurrir en las dos dimensiones principales que posee el agua: el agua como recurso, y el agua como una amenaza. Como recurso, la disponibilidad de agua de buena cantidad y calidad es la base del bienestar y modo de vida de los habitantes de los centros urbanos, así como de numerosas actividades económicas que se desarrollan en y alrededor de ciudades, entre ellas la agricultura, las industrias de alimentos y bebidas. Asimismo, esta disponibilidad es fundamental para otras actividades como la generación de energía, la extracción de recursos, y el turismo, así como para el desarrollo y bienestar de los ecosistemas naturales. Mientras tanto, el exceso o escasez de agua puede dar lugar a amenazas tales como la concentración de contaminantes (con consecuencias negativas para la salud), la falta de flujo de agua adecuado para los sistemas de suministro de agua potable y alcantarillado, daños a activos físicos relacionadas con inundaciones y la degradación de los sistemas naturales.

Los recursos hídricos son utilizados por distintos actores presentes en una cuenca, quienes tienen diversas necesidades, prioridades y percepciones. La convivencia de esta diversidad de usuarios sobre un mismo territorio usualmente genera competencia por el uso de agua, lo que puede provocar conflictos por la distribución y acceso al recurso, especialmente en zonas que sufren condiciones periódicas de escasez. En este contexto, surge la necesidad de implementar sistemas que permitan un manejo y distribución de los recursos hídricos. Adicionalmente, el crecimiento industrial y demográfico, así como los impactos esperados del cambio climático sobre los recursos hídricos son factores relevantes a la hora de planificar y gestionar su uso. Esta planificación se ha basado por años en el supuesto de un ciclo hidrológico estacionario. Hoy existe consenso en que este supuesto es discutible, lo que supone una necesidad de nuevas herramientas para la evaluación y planificación de los recursos hídricos, que permitan a los usuarios adaptarse a estas nuevas condiciones (Milly et al, 2008). Las empresas sanitarias han sido proactivas en esta materia tomando acciones en este nuevo escenario producto de la responsabilidad que tienen en abastecer con seguridad las necesidades de agua de la población. La incorporación de escenarios de cambio climático en los planes de desarrollo de compañías sanitarias es, desde hace varios años, un requerimiento regular en lugares como Inglaterra y Gales (Arnell, 2011). La situación es similar en Estados Unidos, donde muchas compañías han establecido o se encuentran en la búsqueda de incorporar técnicas de planificación que les permita una mejor preparación para enfrentar los cambios futuros en las condiciones hidrológicas. Diversos métodos se encuentran en fase de prueba para mejorar la planificación (Waage and Kaatz, 2011). Esto demuestra que el cambio climático y sus potenciales impactos han dejado de ser el centro del debate. Hoy el enfoque de las discusiones se centra en el desarrollo de procesos que permitan estar mejor preparados. Sin embargo, en el contexto de las demandas de agua del sector urbano, los procesos de planificación requieren evaluaciones acotadas a cada empresa sanitaria, considerando sus propias necesidades y capacidades (Waage and Kaatz, 2011).

Bajo esta concepción, la visión de cuenca que se propone implica la consideración y participación de múltiples actores. Es necesario contar con las distintas organizaciones que desarrollan su actividad en el sector urbano como sanitarias, proveedoras de servicios, organismos estatales de regulación y planificación, así como también aquellas que tienen como centro de su accionar el entorno rural y agrícola, tal como comités de agua potable rural, pequeños agricultores y grandes

asociaciones de usuarios. Adicionalmente la relevancia que poseen los ecosistemas naturales como sustento de todo el sistema implica una correcta y acuciosa representación y consideración en esta visión integrada. Así, el salvaguardar la seguridad hídrica en la cuenca dando sustentabilidad futura a sistemas antrópicos como naturales, depende de nuestro mejor entendimiento y valorización de este territorio.

En Chile la situación tiende hacia una situación similar en relación al estado de los recursos hídricos en un contexto de cambio climático. Estudios previos (CEPAL, 2009; Ministerio del Medio Ambiente, 2011; Vicuna et al. 2010; Vicuna et al. 2012; Meza et al, 2012) han demostrado que para la zona central de Chile existen señales de cambio robustas – esencialmente disminuciones en precipitación y aumentos en temperatura-, que alterarían la disponibilidad de recursos hídricos y por ende las posibilidades de desarrollo de las poblaciones y sectores productivos que dependen de este vital elemento. Con base en estos trabajos se ha generado una necesidad por parte del sector público de desarrollar planes de adaptación para diferentes sectores productivos de acuerdo con lo planteado en el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático. El primero de los planes de adaptación a nivel nacional que se está desarrollando corresponde al plan de adaptación del sector silvoagropecuario, al que le seguiría en un futuro cercano un plan de adaptación al sector recursos hídricos. Algunas de las agencias del estado que se encuentran desarrollando estos planes corresponden a la Comisión Nacional de Riego, y la Dirección General de Aguas, todas bajo la coordinación del Departamento de Cambio Climático del Ministerio de Medio Ambiente. Al igual que en otras latitudes, el sector sanitario en Chile también ha sido uno de los más activos al evaluar la necesidad de incorporar escenarios de cambio climático en los planes de desarrollo de este sector, bajo liderazgo de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), ente regulador en esta materia. El interés en el estudio de estas necesidades no ha sido materia exclusiva del sector público existiendo también interés de las empresas privadas que realizan su labor en estrecha labor con el recurso hídrico, tal como es el caso de empresas eléctricas, sanitarias en áreas rurales, mineras y agrícolas. Una de las cuencas hidrográficas del país que ha concitado un mayor interés en estas temáticas es la cuenca del río Maipo.

La cuenca del río Maipo se encuentra situada en la zona central de Chile, entre los 32° 55' - 34°15' de latitud Sur y 69° 46' - 71° 43' de longitud Oeste, siendo prácticamente coincidente en sus límites con la región Metropolitana de Santiago (división administrativa de primer nivel jerárquico en Chile). El río Maipo en las laderas del volcán Maipo a 5.523 m.s.n.m. y recorre una longitud de 250 kilómetros hasta desembocar en al Océano Pacífico, cubriendo una superficie levemente superior a los 15.000 km².

La cuenca presenta un clima mediterráneo semiárido, con precipitaciones concentradas en los meses de invierno y temperaturas máximas en los meses de verano (Figura 2.1). Por otra parte, la precipitación en la cuenca es altamente variable y de acuerdo a estudios previos (ej. CEPAL, 2012) proyecciones de cambio climático indican una fuerte tendencia a la baja y un alza en las temperaturas.

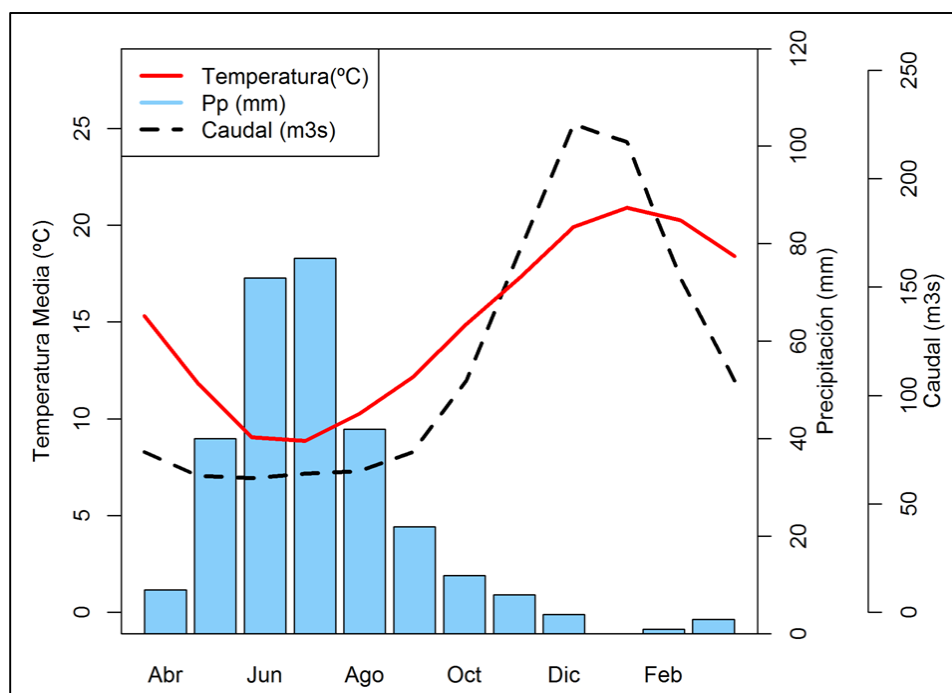


Figura 2.1. Hidroclimograma de la cuenca del río Maipo. Precipitación y temperatura de la estación Quinta Normal (560 msnm) y Caudal del Río Maipo en el Manzano (1.230 msnm.).

En su origen en la cordillera recibe los aportes de los ríos Volcán, Yeso y Colorado, siendo este último el de mayor importancia en esta zona, alcanzando un caudal medio a la salida de la cordillera de 115 m³/s. En su zona media su principal afluente es el río Mapocho, el cual cruza la ciudad de Santiago, presentando un caudal medio anual de 35 m³/s. En su tramo final, recibe el aporte de algunos esteros y cauces menores, llegando a su desembocadura con un caudal medio anual de 150 m³/s. Esta configuración le da al sistema un régimen hidrológico de alimentación mixta, siendo marcadamente nival en zonas altas y pluvial en las zonas bajas (ver Figura 2.1).

En lo que respecta al uso del agua en la cuenca, ésta se encuentra dividida en tres “secciones” legales (ver Figura 2.2). Cada una de estas secciones se administra de manera independiente tomando en cuenta los recursos hídricos disponibles dentro de sus delimitaciones. Dentro de éstas secciones los usuarios son diversos. Se cuentan entre ellos una importante área agrícola, con más de 136.000 has bajo riego de las cuales el 50% aproximadamente corresponden a cultivos permanentes de viñas y frutales, las que poseen una demanda de agua concentrada en los meses de primavera y verano. Por otra parte, está el área urbana metropolitana de Santiago, la cual, con sus más de 6 millones de habitantes, ejercen una creciente y constante demanda de recursos, tanto en lo que respecta a consumo domiciliario e industrial, así como también el riego y la mantención de parques y jardines. Se suman como usuarios una serie de centrales hidroeléctricas, que en la actualidad suman un poco más de 300 MW de capacidad instalada, las cuales en su totalidad corresponden a centrales de pasada ubicadas en la zona cordillerana y precordillerana de la cuenca. Se agregan también como usuarios las faenas mineras existentes en la cuenca, principalmente en su parte alta y norte, asociadas a extracciones de cobre y carbonatos de calcio. Finalmente, en términos ambientales, es importante mencionar que la cuenca se inserta en un ecosistema mediterráneo con una de los

mayores niveles de biodiversidad y endemismo de especies en Chile siendo utilizado el río también de manera directa o indirecta en diversas actividades recreativas y/o de esparcimiento.

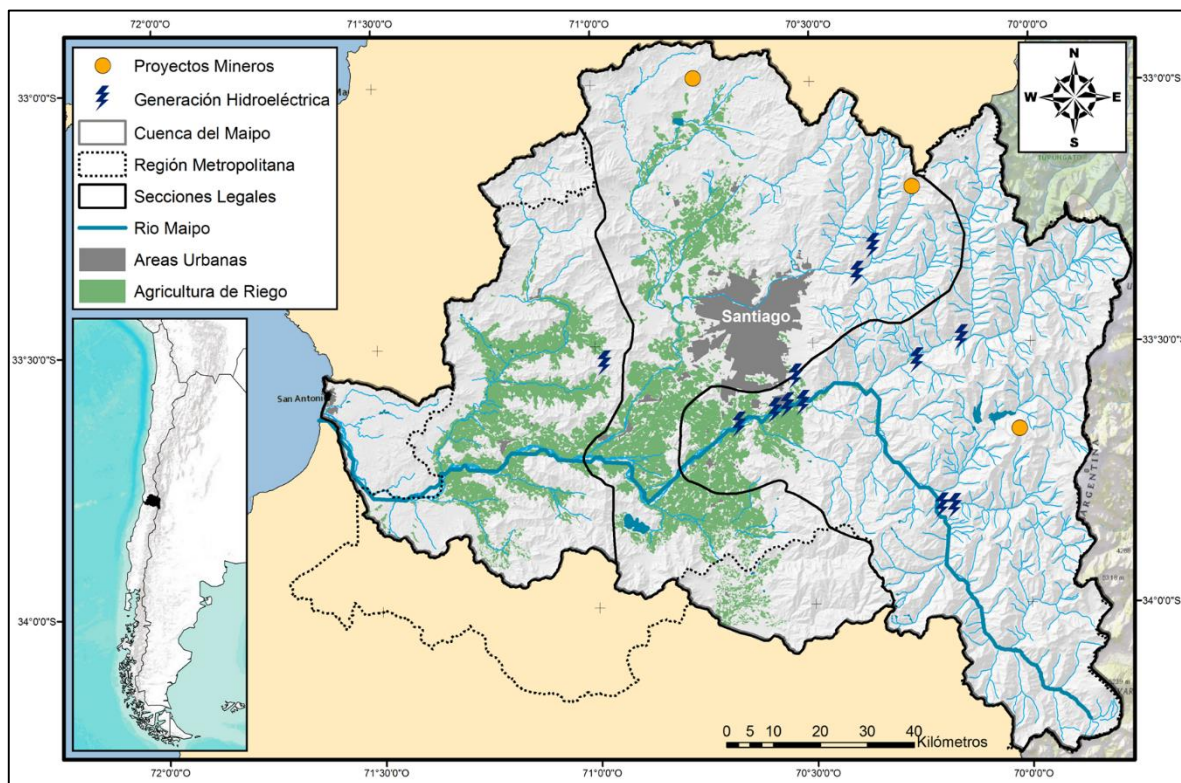


Figura 2.2. Hidrografía, secciones legales y usuarios presentes en la cuenca del río Maipo.

Tal como lo confirmó el quinto informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) publicado en 2014, el calentamiento del sistema climático es inequívoco, y desde 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado (IPCC, 2014).

Los efectos esperados del cambio climático sobre la disponibilidad de agua en la región se levantan como un factor determinante en la vulnerabilidad que pueda presentar la cuenca a futuro a nivel de sus usuarios. Tal como en otras cuencas con fuerte influencia de la cobertura nival y glacial, los escenarios futuros de cambio climático esperados para esta cuenca provocarían cambios en los volúmenes y temporalidad de los caudales superficiales (Barnett et al., 2007).

Para el caso de la cuenca del río Maipo, en un estudio realizado por Melo et al., (2010), se estudiaron los impactos que implicaba un escenario de cambio climático (HadCM3-A2 y B2) en el suministro de agua potable para la ciudad de Santiago. En dicho estudio se consideró como medida de adaptación la compra de derechos de agua por parte de la empresa Aguas Andinas para mantener los niveles actuales de cobertura. El desarrollo de esta línea de investigación permitió al interior del Centro de Cambio Global UC contar con un modelo hidrológico a paso semanal de la primera sección de la cuenca del Maipo que involucra además una representación simplificada de las demandas de agua agrícolas y urbanas, siendo esta herramienta la base para el desarrollo y mejoramiento de la

representación de los sistemas representados en este proyecto, permitiendo evaluar los impactos del cambio climático sobre la cuenca. Como condición de base para el desarrollo de este proyecto, todos los escenarios de cambio considerados al inicio de esta iniciativa proyectan cambios importantes en la disponibilidad de agua. Al considerar las demandas de agua de la ciudad de Santiago y del sector agrícola se observa que todos los modelos coinciden en proyectar disminuciones en la continuidad del servicio. Estos efectos se ven claramente agravados cuando a los efectos de cambio climáticos se agrega el crecimiento poblacional. (Meza et al, 2014).

Bajo este contexto de cambios esperados, este proyecto se plantea como una extensión de este trabajo previo, en donde otras iniciativas han realizado un gran aporte, como es el caso del Proyecto CAS (Clima-Adaptación-Santiago). Así en MAPA: Maipo Plan de Adaptación, además de profundizar en el entendimiento del fenómeno del cambio climático y sus repercusiones biofísicas, ha sido fundamental la incorporación de nuevos escenarios de cambio futuro que vayan más allá de lo climático, tal como los cambios en los patrones de consumo o las dinámicas poblacionales y de uso del territorio.

Finalmente, y considerando esta multiplicidad de elementos de análisis, se cuenta resultados nacidos de la investigación y del trabajo colaborativo con las instituciones pertenecientes a lo que se denominó el Grupo de Construcción de Escenarios, los cuales han permitido un mejor entendimiento de las interrelaciones y efectos sinérgicos, para desde ahí proponer las mejores alternativas de adaptación a la variabilidad y al cambio climático para los distintos usuarios de la cuenca.

3 Objetivos

El Objetivo General original del proyecto MAPA fue “desarrollar un plan de adaptación con respecto a la variabilidad y el cambio climático en la cuenca del río Maipo a partir del análisis de las vulnerabilidades de los diferentes tipos de usuarios del agua de la cuenca”. Este objetivo inicial sufrió de manera temprana una evolución en sus alcances como resultado de las discusiones iniciales con los distintos usuarios.

La primera evolución tuvo que ver con el objeto del análisis, es decir, cuáles eran los usuarios relevantes en la cuenca para efectos del análisis de vulnerabilidad. Originalmente, se consideraron dos grandes grupos de usuarios, el sector urbano y agrícola, dada su relevancia en cuanto al consumo de agua especialmente en la parte intermedia (valle) de la cuenca. Los mismos actores manifestaron en las reuniones de convocatoria inicial que era necesario incluir de manera explícita dentro de este objetivo inicial las consideraciones que ocurren en la parte alta de la cuenca donde por una parte se genera la gran parte de los recursos disponibles, pero también existen usuarios productivos y no productivos que pueden verse afectados por el cambio climático. Es por esto que se incluyó dentro del análisis otros usuarios y no solamente el sector agrícola y urbano. La idea se desarrolla con mayor extensión en la discusión del segundo objetivo específico del proyecto.

Otro de los aspectos más relevantes relativos a la evolución del objetivo general del proyecto, fue el hecho de reconocer las limitaciones que posee una iniciativa como este proyecto en configurar y desarrollar completamente un plan de adaptación para una cuenca con las dimensiones y complejidades aquí presentes. La implementación de un plan de adaptación implica el contar con recursos, responsabilidades y compromisos que escapaban el nivel de injerencia que se podía lograr desde una institución de investigación como la Universidad. Por lo que pese a que ese objetivo macro siguió siendo el motor de acción del proyecto, a los ojos de esta iniciativa en particular se reformuló el objetivo general de común acuerdo con los actores al concepto de “*articular*” y no desarrollar un plan de Adaptación para la cuenca del río Maipo. Esta modificación semántica avanza en el sentido de reconocer que si bien es cierto este proyecto posee una estructura de objetivos específicos, actividades y resultados que apuntan al desarrollo de un plan de adaptación, son finalmente los actores locales quienes llevarán adelante el desarrollo y la ejecución de dicho plan, quedando como función de este proyecto la articulación, puesta en valor, generación de información y facilitación de los intercambios entre quienes finalmente tomarán las decisiones.

De esta manera el OBJETIVO GENERAL final del proyecto MAPA fue “articular un plan de adaptación con respecto a la variabilidad y el cambio climático en la cuenca del río Maipo a partir del análisis de las vulnerabilidades de los diferentes tipos de usuarios del agua de la cuenca”.

Un aspecto que es necesario mencionar respecto al desarrollo de las actividades asociadas a este y otros objetivos, es la modificación del área de cobertura inicial del proyecto. A pesar de que la propuesta inicial enviada a IDRC se refería a la totalidad de la cuenca (esto es, desde el nacimiento en cordillera del río Maipo y sus afluentes hasta su desembocadura en el Océano Pacífico), MAPA redujo su cobertura geográfica (por limitación de recursos y tiempos), quedando restringida las siguientes áreas:

- Subcuencas cordilleranas de los ríos Maipo y Mapocho (primera sección legal del río Maipo y Mapocho)
- Usuarios agrícolas dependientes de la primera sección legal del río Maipo
- Área urbana de la ciudad de Santiago asociada a esta primera sección
- Tramos específicos del río Mapocho con interés en el estudio de la calidad de aguas.

Es así como resultado de esta re-definición de los alcances territoriales del proyecto, quedan fuera del análisis las siguientes áreas/elementos de la cuenca:

- Hidrología superficial de las áreas no regadas de la cuenca intermedia y baja de la cuenca del río Maipo y Mapocho
- Hidrología de las áreas agrícolas no dependientes de la primera sección legal del río Maipo
- Hidrología subterránea de la cuenca del Maipo

Las dos secciones de la cuenca no incluidas en el trabajo comprenden, mayoritariamente, actividades agrícolas que dependen de sistemas de regadíos y/o de las lluvias. Existen además actores institucionales importantes en estas secciones, tales como las Asociaciones de Agua Potable Rural, las cuales distribuyen agua potable a la población urbana rural. Es indudable que el sector alto de la cuenca es el más relevante en términos de la oferta y demanda de agua en la cuenca, pero existe la posibilidad de que cambios a mediano y largo plazo en las condiciones intermedia y baja de la cuenca afecten la disponibilidad de recursos hídricos en la cuenca. Se hace necesario dentro de este contexto buscar las estrategias que permitan extender en fechas futuras el área de análisis hacia los sectores intermedios y bajos no incluidos en MAPA.

3.1 Objetivos específicos

Respecto ahora de los objetivos específicos, durante los dos primeros años del proyecto hubo una redefinición de los dos primeros objetivos específicos del mismo, siguiendo la discusión que se presentó anteriormente. Estos cambios no implicaron una redefinición radical de los objetivos iniciales sino una mayor claridad y extensión de los objetivos iniciales, reconociendo las limitaciones y nuevas oportunidades generadas durante la implementación, la interacción con los actores participantes y los avances de las distintas líneas de investigación. La versión original y final de estos objetivos se describen en la siguiente tabla.

Tabla 3-1. Evolución objetivos específicos proyecto MAPA.

Objetivo específico	Versión original	Versión final
Objetivo 1	Diseño de un marco conceptual para el desarrollo de un plan de adaptación en la cuenca.	Análisis de la estructura institucional que permita la implementación, el monitoreo, y la evaluación del proceso de adaptación en la Cuenca.
Objetivo 2	Identificar las vulnerabilidades y diseñar las primeras estrategias de adaptación para los sectores agrícola y urbano	Identificar las vulnerabilidades y diseñar las primeras estrategias de adaptación para todos los usuarios críticos y sistemas que operan en la cuenca.

Objetivo 3	Diseñar una herramienta de modelación que integre la oferta y demanda de agua, teniendo en cuenta elementos de calidad y cantidad de agua, bajo escenarios de variabilidad y cambio en el clima
Objetivo 4	Generación de escenarios de adaptación a medio y largo plazo en la cuenca del Maipo.

A continuación, se presentan los objetivos específicos, detallando en cada caso, su desarrollo, actividades relacionadas y aprendizajes obtenidos en su desarrollo.

3.2 Objetivo específico 1: Análisis de la estructura institucional que permita la implementación, el monitoreo y la evolución del proceso de adaptación en la cuenca.

El desarrollo de un plan de adaptación en una cuenca altamente poblada y diversa como la del río Maipo demanda la articulación de múltiples usuarios del agua y de los sistemas socio-ecológicos asociados. Especialmente los sistemas socio-ecológicos complejos requieren un entendimiento de las múltiples capas y formas en las que los humanos y el sistema ambiental interactúan (Ostrom 2009). A lo anterior se une el conocido fracaso de iniciativas y proyectos que no involucran a los potenciales usuarios y a su vez imponen soluciones tecnócratas (Cash et al. 2006). La literatura científica actual enfatiza en la necesidad de involucrar a la sociedad para la solución de problemas globales complejos como el cambio climático (Gibbons 2000; Jasanoff 2003; Corburn 2003). Por estos motivos, este proyecto de investigación se inspiró en teorías como la co-producción de conocimiento (Lemos y Morehouse 2005), el diálogo entre ciencia y sociedad (Scott et al. 2013) y el aprendizaje colaborativo (Daniels y Walker 1996) para guiar el diseño del marco conceptual.

Lo anterior da un marco de trabajo respecto de la manera en que se deben desarrollar el trabajo de articulación del plan de adaptación. Sin perjuicio de lo anterior este objetivo tiene también que hacerse cargo de los componentes específicos que promuevan o debiliten un plan de adaptación a escala de cuenca tomando en cuenta las particularidades del sistema institucional chileno y las particularidades de la cuenca del río Maipo. El desarrollo de este objetivo se materializa a través de encuestas a nivel institucional y un análisis de forzantes y barreras para la implementación de la adaptación. Los detalles se explican en secciones posteriores.

3.3 Objetivo específico 2: Identificar las vulnerabilidades y diseñar las primeras estrategias de adaptación para todos los usuarios críticos y sistemas que operan en la cuenca.

Como fuera mencionado anteriormente, este objetivo tuvo una modificación relevante al incluir dentro del ámbito de análisis no solo los sectores urbano y agrícola sino que todos los sectores y sistemas críticos relacionados con los recursos hídricos en la cuenca. Siguiendo el espíritu del proyecto, este cambio en la orientación del proyecto surgió de la interacción con los actores especialmente en la etapa de convocatoria.

Posteriormente se llevaron a cabo una serie de actividades (ej. Taller de Análisis de Vulnerabilidad – [Ver Anexo 5-1-17](#), Taller Open Space – Reunión GCE N°3, [Ver Anexo 5-1-3](#)), que se describen con mayor detalle más adelante, y que tuvieron como objetivo primero discutir el concepto de vulnerabilidad y después la manera en que este concepto podía ser aplicado al caso específico de una cuenca hidrográfica.

Respecto del concepto de vulnerabilidad se dio la posibilidad de que el proyecto incluyera tanto elementos que podrían asociarse a Vulnerabilidad de contexto como también Vulnerabilidad de resultado ([ver Anexo 6-3-1](#) sobre la discusión del concepto de Vulnerabilidad en el marco del proyecto). Se desarrolló también en ese proceso una selección de lugares donde llevar a cabo estos análisis seleccionando distintas comunas que representaban diferentes condiciones en el rango urbano-rural en la cuenca.

Con respecto del segundo punto y a través de un proceso participativo que queda descrito con mayor detalle en Ocampo-Melgar (aceptado, [ver Anexo 6-4-1](#)) el concepto de vulnerabilidad en el contexto de una cuenca hidrográfica fue asociado al concepto de “seguridad hídrica”. Este fue un concepto que se consideró más apropiado que el concepto de vulnerabilidad usado hasta ese momento por el proyecto. Los detalles del alcance de esta nueva definición se explican en la siguiente sección. Acoplándose a esta nueva definición se redefinieron también los casos de estudio a ser analizados tratando de mostrar la diversidad de sistemas y sectores vulnerables en un contexto de cambio climático.

Se obtuvieron de esta manera avances importantes, especialmente en relación con los objetos iniciales de estudio. Se completaron actividades, tanto en el sector urbano como en el agrícola/rural, que han permitido avanzar en la identificación de la vulnerabilidad asociada a la variabilidad y cambio climático en los dos sectores. Para el sector urbano se completó un análisis de la vulnerabilidad de la demanda de agua en Santiago y se desarrolló un modelo de la relación entre el clima y la demanda urbana de agua, lo que ayuda a entender su sensibilidad climática. De la misma manera, se estableció para el sector agrícola un modelo sobre la relación entre el clima, la demanda de agua, y la productividad de los cultivos en la cuenca y se llevó a cabo un análisis de la vulnerabilidad de la demanda hídrica con las asociaciones de regantes en la parte alta de la cuenca. Por otra parte, las herramientas desarrolladas permitieron el análisis de vulnerabilidad de otros usuarios en la parte alta de la cuenca como la generación hidroeléctrica o la satisfacción de caudales ambientales en distintos tramos relevantes.

3.4 Objetivo específico 3: Diseñar una herramienta de modelación que integre la oferta y demanda de agua, teniendo en cuenta elementos de calidad y cantidad de agua, bajo escenarios de variabilidad y cambio en el clima.

En lo relativo al tercer objetivo relativo se pudo lograr un gran avance en cuanto al desarrollo de las capacidades de poder relacionar el clima con los distintos componentes de vulnerabilidad a escala de cuenca. Estas capacidades de relación se componen de distintas herramientas o modelos. Una de las herramientas esenciales correspondía a aquella que permitía relacionar la condición climática (histórica, futura) con la disponibilidad de recursos hídricos para distintos usuarios en la

cuenca del Maipo. Estas herramientas de modelación logran estos resultados representando gran parte de la complejidad, tanto biofísica como humana de parte importante de la cuenca. Este objetivo ha sido fundamental en la lógica del proyecto MAPA, en la medida que conduce al desarrollo de una serie de instrumentos que sean capaces de integrar toda la información obtenida a partir del diálogo con los actores participantes del proyecto siguiendo de esta manera el concepto de modelación participativa (van Eeten, et al. 2002). El desarrollo de la herramienta se basa en parte en trabajos anteriores del equipo del Centro de Cambio Global UC y en el desarrollo de las actividades asociada a los otros objetivos del proyecto. La plataforma en que se han desarrollado estos diferentes modelos de uso y demanda de agua es el software de modelación WEAP (Water Evaluation and Planning System). Estos modelos abarcan (a) la oferta y demanda de agua en la parte elevada de la cuenca, incluyendo la representación de la actividad hidroeléctrica presente; (b) la oferta y demanda de agua en la zona urbana (Santiago); (c) la demanda de agua de cultivos agrícolas; (d) la calidad de agua; (e) una primera aproximación a la representación de la hidrología subterránea y; (f) una experiencia piloto en representación de hidrología glaciar en una subcuenca en cordillera. Todos estos componentes de modelación serán descritos en la sección “Actividades Objetivo 3”, más adelante. El desarrollo de buena parte de estas aplicaciones fue posible gracias al apoyo del Stockholm Environment Institute.

Una de las consecuencias más relevantes de la re-definición del alcance geográfico del proyecto mencionado al inicio de esta sección, es la modificación y acotamiento del alcance espacial de las herramientas de modelación plantadas originalmente como parte del proyecto. Es así como, si en un inicio se consideró la modelación de la hidrología superficial de toda la cuenca desde el área de cordillera hasta la confluencia de los ríos Maipo y Mapocho, finalmente se acotó el área de desarrollo del modelo de hidrología superficial al área de las subcuencas cordilleranas, quedando sin desarrollar parte del modelo de hidrología superficial, tal como se observa en la Figura 3.1.

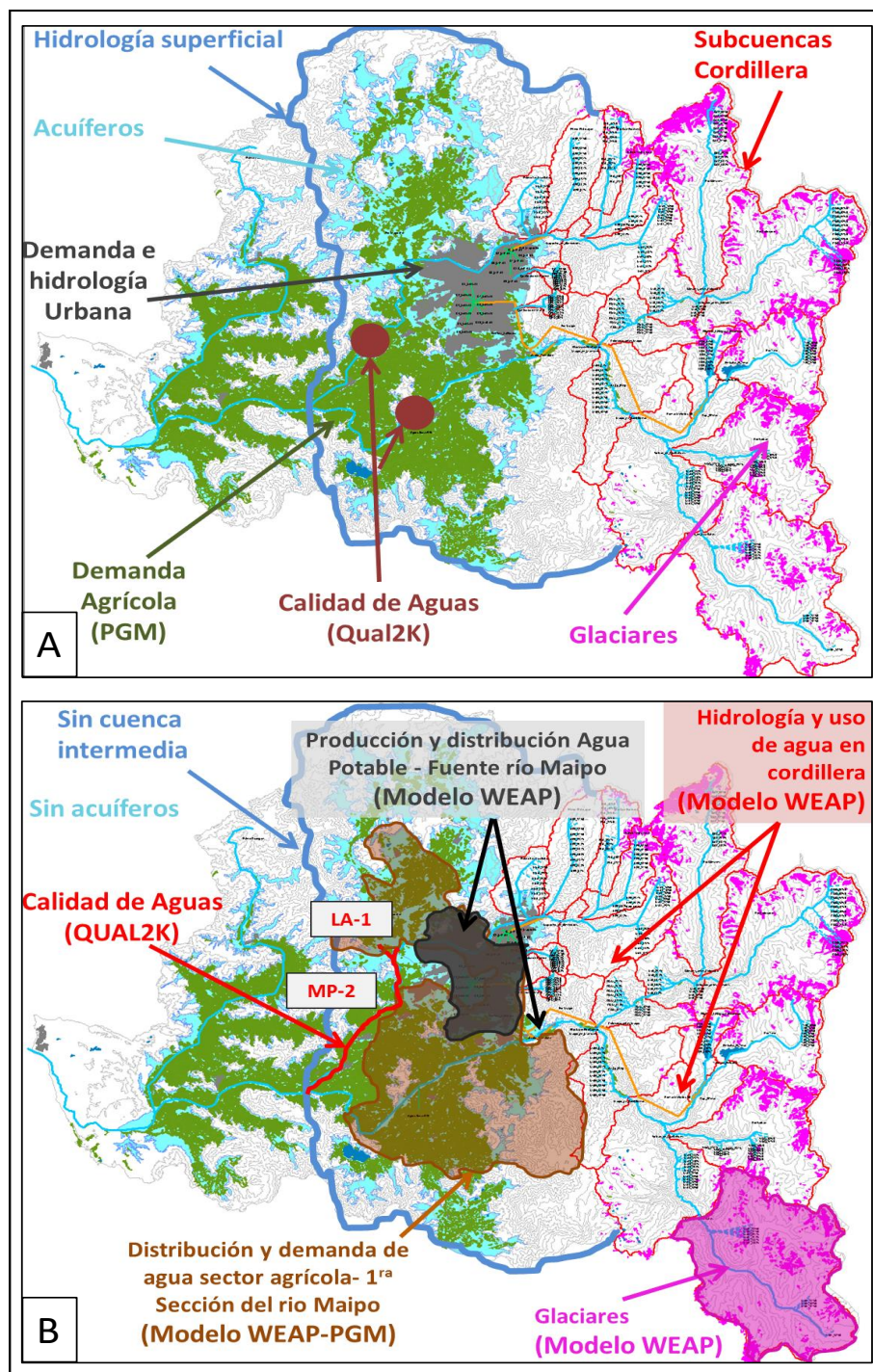


Figura 3.1. Alcance territorial de las herramientas de modelación desarrolladas en este proyecto. (A) Propuesta inicial. (B) Herramientas finalmente desarrolladas.

En paralelo a este hidrológico y de recursos hídricos es importante mencionar que en el marco de dos tesis de doctorado financiadas por el proyecto se están desarrollando dos herramientas adicionales que van a mejorar las capacidades de modelación del efecto que tiene el uso y cobertura de suelo respecto de la generación de eventos hidrológicos extremos y contenido de sedimentos (turbidez).

3.5 Objetivo específico 4: Generación de escenarios de adaptación a medio y largo plazo en la cuenca del Maipo.

El propósito de este objetivo implica el poder desarrollar diferentes visiones del futuro de la cuenca. Este futuro se estructura como la conjunción de dos posibles forzantes exógenos y la posible reducción de impactos o aprovechamiento de beneficios en función de la implementación de medidas de adaptación. Mayores detalles respecto del marco conceptual se presentan en secciones posteriores.

Dentro de este objetivo específico se encuentran otros objetivos detallados como la generación de escenarios climáticos futuros para la cuenca, en donde se ha planteado una metodología innovadora capaz de rescatar las particularidades climáticas de la zona de estudio. Más detalles se presentan en secciones posteriores. Asimismo, se plantea el desarrollo y uso de escenarios de desarrollo y uso de suelo de la cuenca, los cuales, en conjunto con los escenarios climáticos, plantean las condiciones futuras sobre las cuales se deberán desarrollar las distintas acciones de adaptación. Más detalles se presentan en secciones posteriores.

El objetivo final es identificar los cambios posibles que la región tendrá hacia mediados de este siglo. A partir de una metodología participativa que integro al GCE, se procedió a identificar los principales forzantes que tiendan a condicionar las condiciones futuras de uso del agua y el suelo en la cuenca.

A partir de estos escenarios y en función de los impactos en indicadores de vulnerabilidad (seguridad hídrica, servicios ecosistémicos o bienestar humano) se han planteado algunas medidas de adaptación –tales como préstamos y/o compras de derechos de agua, contratos a futuro, construcción de nueva infraestructura– que podrían ser consideradas en el Plan de Adaptación, definido como el propósito central de MAPA.

En un comienzo, y dado los avances logrados en la definición del marco de trabajo (ver más adelante), se definió un amplia gama de potenciales acciones de adaptación a las condiciones futuras y sus potenciales impactos. La aspiración inicial fue el probar e incluir en el análisis, mediante el uso de los modelos y herramientas desarrolladas, un gran número de medidas, de manera tal de que al término del modelo se pudiese contar con una batería de propuestas de acción a desarrollar por los actores de la cuenca. En este respecto, se avanzó en la generación de un listado y justificación de varias medidas en variados sectores y realidades en la cuenca. No obstante, durante el desarrollo del proyecto se vio que existían algunas limitaciones para poder cumplir este objetivo inicial. El primero de ellos, es que finalmente las características de esta iniciativa, fue que los actores locales participantes fuesen quienes se apropiasen del proceso y pudieran generar, en base a su propio interés y necesidad, una batería de acciones de adaptación para su testeo y análisis dentro de MAPA. Este proceso, dada la gran cantidad de actores, diferencias en intereses y complejidades a nivel técnico a la hora de definir cada medida, hizo menos fluido este proceso de lo esperado.

Otro punto relevante a la hora de justificar las limitaciones a la hora de analizar las distintas medidas de adaptación, fue relativo a la complejidad técnica del desarrollo de las herramientas de modelación asociadas a cada medida. Por ejemplo, algunos modelos fueron terminados bien

avanzado el proyecto, lo que permitió evaluar impactos de los escenarios futuros, pero dejando poco espacio para su uso e implementación con medidas de adaptación.

Sin perjuicio de lo anterior fue posible realizar en algunos de los componentes de la seguridad hídrica-bienestar humano análisis relativamente complejos y profundos de las potencialidades asociadas a la implementación de medidas de adaptación. Un ejemplo de este tipo de medidas corresponde al análisis de distintas opciones de provisión de agua con que cuenta la empresa Aguas Andinas, empresa sanitaria a cargo del suministro de agua para Santiago. Otro ejemplo corresponde al análisis de distintas opciones a escala de asociación de canalistas o agricultor para asegurar producción de ciertos cultivos frente a escenarios de cambio climático.

4 Metodología

La idea de MAPA nace, además del acrónimo (**MA**ipo **P**lan de **A**daptación), de la convicción de que mediante el cumplimiento de los objetivos planteados en este proyecto, el uso de las herramientas, la investigación realizada y la interrelación de los distintos actores participantes, esta iniciativa podrá convertirse en una hoja de ruta en donde se podrán poner en común las problemáticas asociadas al manejo de los recursos hídricos al interior de la cuenca del río Maipo bajo condiciones de variabilidad y cambio climático con el objetivo de disminuir la vulnerabilidad de la cuenca y sus usuarios.

La metodología para llevar a cabo este objetivo tiene varios alcances. Por una parte, está la metodología de trabajo con los actores durante el proyecto y pensando en la etapa posterior de implementación de esta hoja de ruta. Por otra parte, están las distintas metodologías utilizadas para el desarrollo de cada uno de los objetivos específicos que se contemplan en el proyecto.

4.1 Metodología de trabajo con actores

La articulación del plan de adaptación de la cuenca del río Maipo se concibe en este marco como el resultado de la conversación y reflexión abierta entre las principales organizaciones interesadas o usuarias del agua y el equipo de investigación, a lo largo de diferentes instancias de colaboración y guiadas por una estructura formal de trabajo.

Las organizaciones participantes fueron seleccionadas en base a su importancia y nivel de decisión en la cuenca. Representantes clave de estas organizaciones, junto con el equipo de investigadores del proyecto conformaron lo que se denominó como Grupo de Construcción de Escenarios (GCE). Este GCE tuvo la misión de generar información, así como el de evaluar y validar los productos que se fueran generando durante las diferentes instancias de trabajo e interacción. Los representantes de organizaciones civiles y los investigadores fueron iguales participantes en cada una de estas intervenciones y reuniones. A este proceso de trabajo se incluyeron instancias de difusión de información (talleres de capacitación, página web y boletín de información bi-anual) y acercamiento de actores a las diferentes problemáticas de la cuenca (visitas a terreno y reuniones bi- anuales organizadas por distintos miembros del GCE). De esta manera se logró construir confianza entre organizaciones participantes, ambiente no confrontacional centrado en lo técnico y no en las diferencias y preocupación por el futuro de la cuenca del río Maipo.

Para darle contenido y orden a la relación con los actores se propuso desde una primera instancia de trabajo una serie de “reglas del juego”. Una de estas reglas del juego consistió en estructurar los avances del trabajo a lo largo de cuatro elementos inspirados de las metodologías de Toma de Decisiones Robustas (Lempert et al. 2003) y ajustadas para esta aplicación particular en el caso del río Maipo:

- Factores de Incertidumbre y Escenarios (I)
- Medidas de Desempeño (D)
- Estrategias de Adaptación (A)
- Modelos (M)

El marco IDAM no busca la selección de estrategias que se adecúen a los escenarios más probables, sino la consideración de estrategias que logren adaptarse de mejor manera a un grupo de escenarios definidos. De este modo, se posiciona como una alternativa sumamente interesante que entrega un sólido apoyo a la toma de decisiones en condiciones de alta incertidumbre, tales como escenarios de cambio climático. Para ello, basa su trabajo en la utilización de, entre otros aspectos, escenarios futuros como elementos de apoyo, centrando su trabajo en tres nociones claves: la noción de robustez, una mirada múltiple del futuro, y un marco iterativo de análisis (Lempert y Groves, 2009). La mirada iterativa de análisis se centró en la combinación de insumos computacionales y capacidades humanas de forma interactiva. Mientras que las aproximaciones más tradicionales consideran el apoyo computacional simplemente para la generación de un ranking de estrategias alternativas, en donde se identifica la opción “óptima”, la propuesta de la RDM y el marco IDAM considera las competencias computacionales para el apoyo en el manejo, despliegue y resumen de vastas cantidades de información. En este sentido, el apoyo computacional es visto como un insumo más, y no como un elemento central, que permite, a través del apoyo de actores expertos, formar y testear hipótesis respecto a las acciones de mediano plazo más robustas a tomar frente a escenarios futuros (Lempert et al., 2003 y Lempert et al. 2004).

La Figura 4.1 resume la interpretación que se le ha dado al marco IDAM al interior del proyecto MAPA y que ha servido de guía en el trabajo con los actores. El punto de partida lógico de esta estructura es la interpretación que se le da a las medidas de desempeño (D). Estas medidas de desempeño reflejan métricas cuantificables de la vulnerabilidad actual o futura de los distintos sectores o sistemas sensibles al clima al interior de la cuenca del Río Maipo. Los factores de incertidumbre (I)/escenarios son amenazas que pueden generar impactos sobre estos indicadores. Para poder evaluar estos impactos se necesitan modelos (M) o herramientas que permitan relacionar el clima y otros factores de cambio con los indicadores de desempeño. Finalmente las estrategias de adaptación (A) se entienden como una serie de instrumentos, políticas, inversiones o cambios en patrones de consumo que puedan reducir este impacto negativo o aprovechar oportunidades si fuese el caso.

La construcción de cada uno de estos componentes fue realizada de la mano con los miembros del GCE como se explica con mayor detalle en cada caso específico. Las razones para realizar estos trabajos en conjunto con los actores obedecen a varias razones:

- Respecto de los indicadores de desempeño/vulnerabilidad son los actores quienes mejor entienden cuáles son sus intereses y objetivos y por lo tanto son quienes mejor pueden definir los niveles frente a los cuales se producen impactos cuando estos objetivos no son satisfechos.
- Respecto de los escenarios futuros son también los actores quienes pueden discernir cuáles son los factores o forzantes relevantes que ayuden a explicar el cómo se puede desarrollar la cuenca hacia el futuro.
- Respecto de los modelos o relaciones, claramente los actores son quienes mejor entienden cómo funcionan gran parte de los sistemas que se están simulando, como por ejemplo el sistema de provisión de agua potable para la ciudad de Santiago.

Finalmente, los actores de manera directa o indirecta van a estar involucrados en la implementación de las distintas medidas de adaptación que se propongan en el proyecto. Por lo tanto, conocer su opinión respecto a estas es clave para asegurar su éxito.

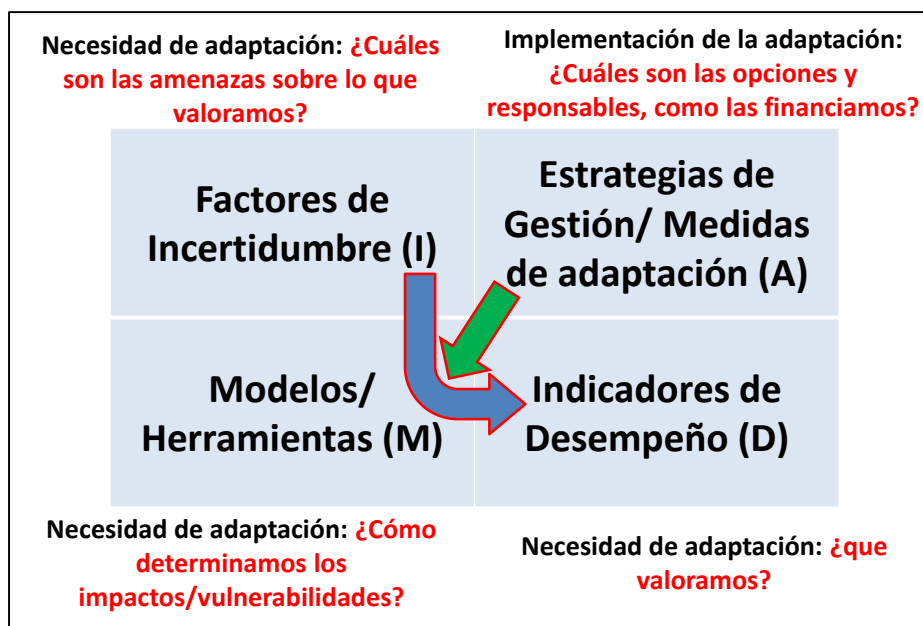


Figura 4.1. Esquema de implementación del marco IDAM para el proyecto MAPA.

4.2 Metodología de trabajo para el desarrollo de los distintos componentes del marco IDAM

Aparte del método de trabajo en relación con los actores cada uno de los componentes del IDAM tuvo un desarrollo metodológico especial cuyo resumen se presenta en la Tabla 4-1. Cada una de estas metodologías con sus productos relevantes se presenta con mayor detalle en distintas secciones de este informe.

Tabla 4-1. Metodologías usadas en distintos componentes del marco IDAM.

Componente del marco IDAM	Metodologías utilizadas
Factores de Incertidumbre y Escenarios (I)	- Downscaling climático - Modelación espacialmente explícita de uso de suelo - Análisis con actores de factores condicionantes
Medidas de Desempeño (D)	- Taller Open Space - Trabajo de marco conceptual con actores - Herramientas de modelación de consumo de agua - Modelos econométricos de consumo de agua - Encuestas a hogares y predios
Estrategias de Adaptación (A)	- Análisis económico - Trabajo de marco conceptual con actores
Modelos (M)	Herramientas de modelación computacional:

	- WEAP - Qual2K - GeoPUMMA
--	--

4.3 Metodología propuesta para la implementación de medidas de adaptación

El trabajo con los actores siguiendo el marco IDAM asegura que se vayan generando los inputs necesarios para la justificación y diseño de medidas de adaptación. Sin embargo, la implementación de estas medidas no queda asegurada con estos logros. Para analizar al nivel de implementación de medidas de adaptación se ha concebido un marco conceptual que reconoce una conjugación de factores que dependiendo de su posición relativa en un caso particular se pueden transformar en forzantes (positivo) o barreras (negativo) para la implementación de la adaptación. La Figura 4.2 basada en un trabajo en desarrollo por Scott et al. (en construcción) presenta los factores relevantes bajo este marco conceptual.

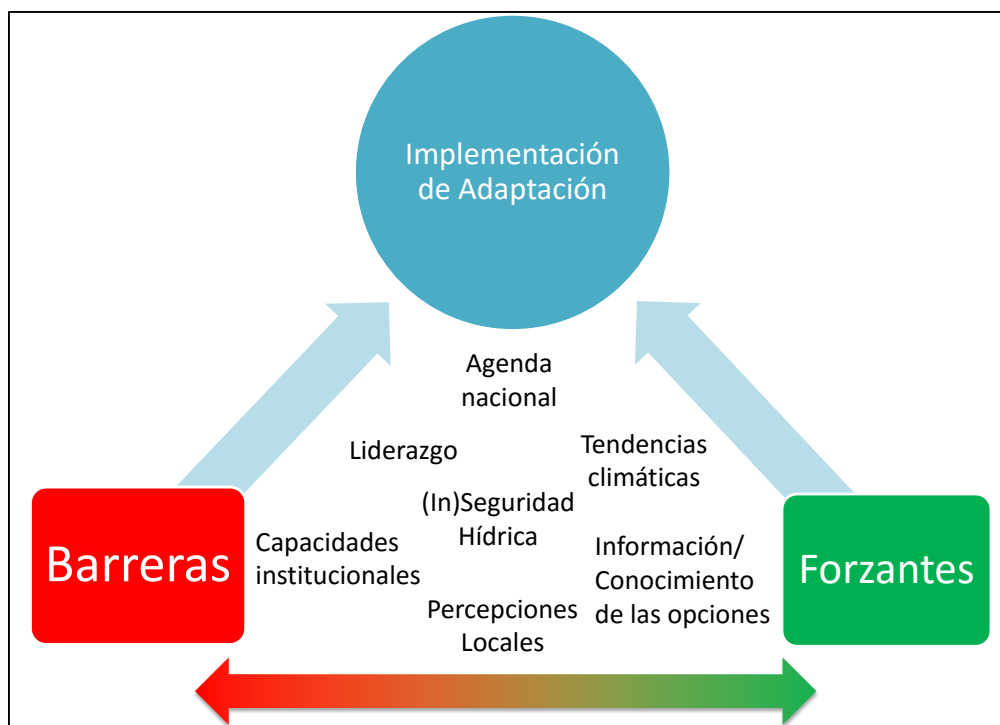


Figura 4.2. Factores relevantes para lograr la implementación de adaptación.

Basándose en los resultados de encuesta a las instituciones que forman parte del CGE y los análisis que se desprenden de otras líneas de trabajo del CCG se concluye que existen una serie de factores que hoy pueden ser considerados como forzantes, es decir, justificaría la adaptación para el caso de la cuenca del Río Maipo. Dentro de este grupo se puede considerar la situación climática reciente (mega-sequia), la percepción de actores locales y los lineamientos que se entregan a nivel nacional respecto de una política de adaptación al cambio climático. También se recoge dentro de este grupo el aporte que entrega MAPA y que se describiera anteriormente, respecto a información y marcos

de trabajo relevantes que permiten que se lleve a cabo la adaptación. Sin embargo, se puede reconocer también otros factores relevantes que corresponden más bien a barreras (limitan la implementación de la adaptación) como por ejemplo la falta de liderazgo claro en el tema y limitaciones institucionales respecto de por ejemplo la gestión de los recursos hídricos o del uso del suelo a escala de cuenca (Figura 4.3).

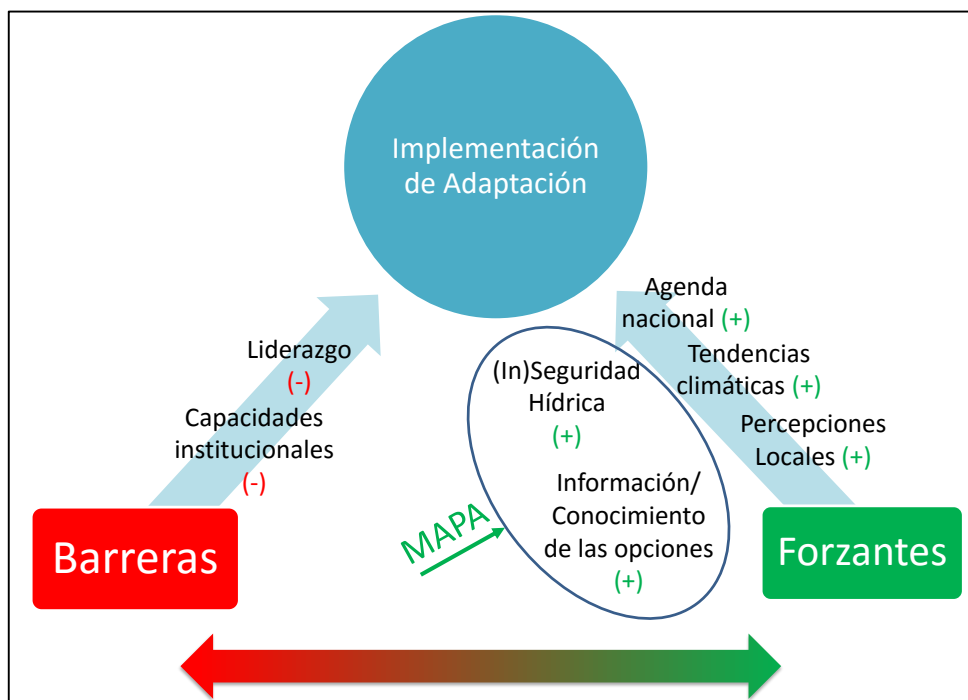


Figura 4.3. Factores relevantes para lograr la implementación de adaptación en el caso de la cuenca del Maipo.

Finalmente se reconoce como aspecto metodológico que la implementación de medidas de adaptación es un proceso iterativo que se produce en la secuencia de ciclos de decisión. De esta manera el proyecto MAPA incorpora el marco de trabajo de los *adaptation pathways* (Figura 4.4). En cada uno de los ciclos de este camino de adaptación y siguiendo el marco IDAM propuesto con anterioridad se deben evaluar las condiciones actuales y proyectadas de desempeño de distintos componentes de la seguridad hídrica y bienestar humano y servicios ecosistémicos. A partir de este análisis se puede evaluar la implementación de medidas de adaptación.

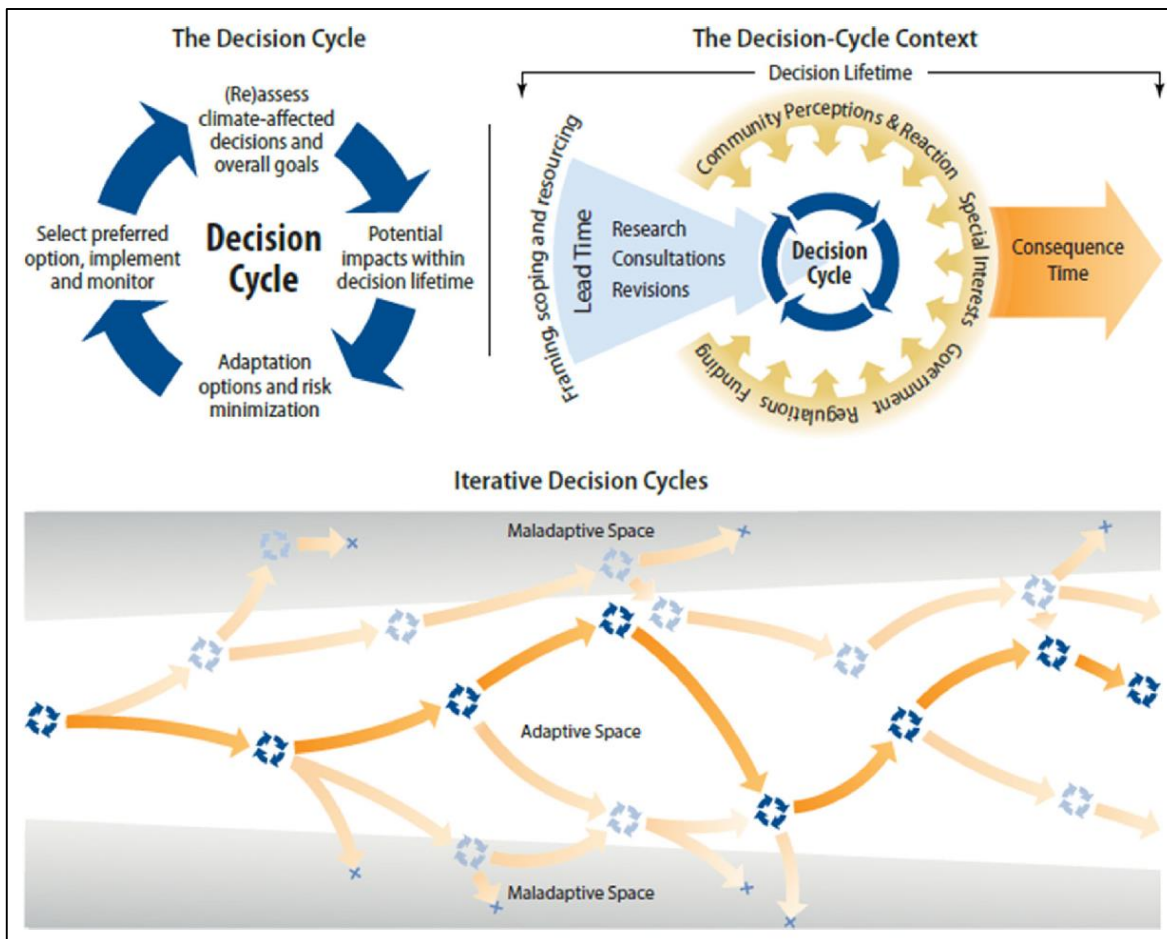


Figura 4.4. Caminos de adaptación (adaptation pathways), tomado de Wise et al. (2014).

5 Actividades del proyecto

5.1 Actividades Objetivo 1

5.1.1 Configuración y actividades del Grupo de Construcción de Escenarios

En relación a este primer objetivo, un primer componente considerado fue la **identificación de un grupo de actores** no académicos o usuarios de agua (stakeholders). A través de un análisis de mapa de actores se estableció la conformación de una mesa de trabajo con un grupo importante de actores no académicos dispuestos a brindar apoyo al proyecto.

Un número de representantes de esta diversidad de organizaciones se constituyeron como miembros del Grupo de Construcción de Escenarios (GCE), asegurando así la integración y la participación permanente de miembros no académicos en el proceso de toma de decisiones del proyecto y el cual, potencialmente, brindaría el marco institucional para la generación del plan de adaptación. (Para el detalle respecto a la conformación de este grupo, revise la sección 7.1)

Este grupo se reunió de manera semestral durante los tres años del proyecto, en reuniones realizadas en distintos lugares de la cuenca, en donde algunas de estas instituciones oficiaron de anfitrionas. El esquema de estas sesiones buscaba en primer lugar, dar a conocer algunas de las distintas realidades presentes en la cuenca desde la perspectiva de distintos usuarios, comunicar los avances en la investigación en los últimos seis meses de trabajo del equipo de investigadores y finalmente discutir distintos elementos del trabajo a realizar hacia el futuro, tales como supuestos a utilizar, modelación necesaria y relevante, enfoques y prioridades de la investigación, etc.

El cronograma de reuniones se presenta en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1. Cronograma de reuniones del Grupo de Construcción de escenarios en distintos lugares de la cuenca del Maipo.

Reunión	Imágenes del trabajo realizado
1a Reunión GCE Lugar: Isla de Maipo Fecha: Abril 2013 Institución Anfitriona: Asociación de Canalistas Canal Naltahua Tema principal: Marco institucional y Mapeo de actores relevantes. 32 participantes Ver Anexo 5-1-1	

Reunión	Imágenes del trabajo realizado
2a Reunión GCE Lugar: Lampa Fecha: Septiembre 2013 Institución Anfitriona: Comité de Agua Potable Rural Batuco Santa Sara Tema principal: Taller Escenarios Futuros e identificación de incertidumbres. 32 participantes Ver Anexo 5-1-2	
3a Reunión GCE Lugar: Buin Fecha: Mayo 2014 Institución Anfitriona: Asociación de Canalistas Unidos de Buin (ACUB) Tema principal: Taller Open Space: “¿Cuáles son las principales características de nuestra visión de futuro de la cuenca?”. 44 participantes Ver Anexo 5-1-3	
4a Reunión GCE Lugar: Cajón del Maipo Fecha: Septiembre 2014 Instituciones Anfitrionas: Aguas Andinas y Sociedad del Canal de Maipo Tema principal: Taller Indicadores de Desempeño de la Cuenca. 41 Participantes Ver Anexo 5-1-4	
5a Reunión GCE Lugar: Maipú Fecha: Junio 2015 Institución Anfitriona: Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado, SMAPA Tema principal: Impactos del Cambio Climático. 34 participantes Ver Anexo 5-1-5	

Reunión	Imágenes del trabajo realizado
6a Reunión GCE Lugar: Quilicura Fecha: Noviembre 2015 Institución Anfitriona: CCU S.A. Tema principal: Inicio en la discusión sobre el Plan de Adaptación. 25 participantes Ver Anexo 5-1-6	

Es de destacar que cuatro de las instituciones participantes en el proyecto, específicamente usuarios de agua relevantes de la cuenca como lo son AES Gener S.A. (Hidroelectricidad), Aguas Andinas S.A. (Empresa Sanitaria), Sociedad del Canal de Maipo (Asociación de Regantes) y Angloamérican S.A. (Minería), dispusieron recursos monetarios equivalentes a USD 17.000 aprox. en conjunto destinados al financiamiento de los gastos generados en estas reuniones (traslado, locación, catering, etc.)

Adicionalmente la iniciativa MAPA consideró el apoyo y el compromiso de centros científicos, tanto nacionales como en el extranjero, tales como la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, el Stockholm Environment Institute y la Universidad de Arizona. Estas instituciones académicas colaboraron en las actividades y los logros obtenidos en los siguientes tópicos (Tabla 5-2):

Tabla 5-2. Instituciones académicas que participaron en el proyecto

Institución	Participación en el Proyecto	Contacto de Referencia
División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente Departamento de Ingeniería Civil Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile	Modulo Modelación Glaciar en plataforma WEAP	James McPhee Profesor jmcphee@u.uchile.cl
Water Resources Group US Center Stockholm Environment Institute	Modelo WEAP Analisis de Vulnerabilidad	David Purkey Lider del Grupo dpurkey@sei-us.org
Udall Center University of Arizona	Institucionalidad	Christopher Scott Co-Director cascott@email.arizona.edu

5.1.2 Análisis de marco institucional de la adaptación

Se desarrolló el análisis del marco institucional en relación a la adaptación al cambio climático a partir de entrevistas en profundidad y encuestas las cuales abordaron varios temas sobre los tipos de cambios climáticos que se manifiestan en la cuenca, la sensibilidad/vulnerabilidad de los actores a estos cambios a futuro, las relaciones inter-institucionales y redes de trabajo en torno al agua, el liderazgo en adaptación al cambio climático, y el estatus de investigación y difusión de información sobre estos temas. Se realizó un análisis detallado de las respuestas identificando algunas ideas subyacentes dentro de cada tema. En términos de tipos de cambios climáticos notados en la cuenca, muchos actores notaron cambios climáticos como cambios de temperatura y precipitación, reducción de glaciares, y eventos extremos, pero un alto número de actores también identificaron problemas humanos relacionados a la sobre extracción de recursos, sobre concesión de derechos de agua, crecimiento poblacional y expansión urbana, degradación de suelos, y sobreexplotación de acuíferos.

Respuestas sobre las relaciones inter-institucionales mostraron que mientras que hay ciertas redes de trabajo ya establecidos entre algunas organizaciones y agencias, hay una falta de difusión de información entre las varias instituciones. Varios actores comentaron que había necesidad de compartir información con el público, así como también con los otros actores directamente asociados a la gestión y uso del agua. La necesidad de tener más comunicación y colaboración entre los varios actores sociales en la cuenca del Maipo fue notado por varios entrevistados, y corresponde con el dialogo que el proyecto MAPA ha cultivado con el GCE. En las últimas etapas del proyecto MAPA, el enfoque ha girado en torno de cómo se implementa y se institucionaliza el plan de adaptación. Por eso, el tema de liderazgo y los drivers de adaptación se vuelve esencial. A partir de este diálogo se generaron preguntas interesantes que quedaron planteadas y se encuentran en proceso de discusión por parte de los actores y del mismo equipo coordinador del proyecto, tales como ¿Quién debe liderar el proceso de adaptación y cómo se puede institucionalizar?, ¿Cómo y a quien se debe traspasar el aprendizaje y los productos generados en esta iniciativa?, entre otras.

Parte de los aprendizajes obtenidos a partir de este proceso es la necesidad de abordar tanto las presiones externas respecto a las acciones frente a cambio climático así como las de originadas a partir de factores internos de la cuenca, tales como los procesos de urbanización, sobreexplotación de recursos, etc., los cuales deberían ser incorporados en el análisis de manera de que todas estas preocupaciones puedan ser consideradas a la hora de generar planes, programas y acciones que apunten a disminuir vulnerabilidad y avancen en el proceso de adaptación. En este proceso es indispensable promover una fuerte capacidad de comunicación intersectorial e interinstitucional para construir una gobernanza colaborativa y equitativa.

5.1.3 Percepción de Cambio Climático por los actores de la cuenca

Como parte de las actividades realizadas en el sector urbano de la cuenca, se avanzó en entender la percepción de las personas respecto del cambio climático y la cultura respecto del consumo de agua potable, así como de conocer sus consumos diarios de agua con tal de asociarlos a variables de interés, tales como temperatura, tipo de hogar, perfil socioeconómico, entre otros. Esta investigación se coordinó con iniciativas realizadas en otras dos cuencas relevantes del país a modo de tener un panorama y diagnóstico más representativo de la realidad del país. Es así como se

estudiaron las cuencas del río Limarí, Maipo y Maule en las regiones centro-norte, centro y centro-sur de Chile.

Esta investigación presenta evidencia estadística pionera para Chile de la relación entre características medioambientales objetivas, características de las personas y sus percepciones y acciones pro medio ambiente. Para ello, se estudian rigurosamente la evolución de variables climáticas de las cuencas mencionadas, y las percepciones y acciones de medioambientales de los residentes de áreas rurales y urbanas en dichas cuencas.

Estas tres cuencas son representativas de zonas que han estado expuestas, en distinto grado, a los efectos del cambio climático y sequía. Un análisis exhaustivo de la evolución de variables climáticas muestra que, en relación al periodo 1970-2003, en la década 2004-2013 hay una reducción significativa de los caudales de ríos y de las precipitaciones en las tres cuencas. En tanto, en la misma década, aumentan significativamente las temperaturas promedio y máxima en las cuencas de Limarí y Maipo. Por su parte, en la cuenca de Maule la evolución de las temperaturas no es concluyente.

En relación a las percepciones y acciones en materia medioambiental, se utilizan datos obtenidos de 2.028 encuestas aplicadas en áreas urbanas y rurales de las tres cuencas geográficas. Se analizan las percepciones respecto de los efectos del cambio climático, del cambio climático futuro y de la sequía, y las acciones pro medio ambiente adoptadas. A través de regresiones logísticas multivariadas, primero, se caracterizan las percepciones de la realidad climática en función a una serie de atributos de los sujetos encuestados; y, segundo, se estudian las acciones medioambientales en función de las percepciones de la realidad climática y las características demográficas de los sujetos encuestados.

Entre los principales hallazgos del estudio, destaca la percepción generalizada por parte de los encuestados de un aumento en el cambio climático y la sequía, lo cual es consistente con la evolución de variables como caudales, precipitaciones y temperaturas en las tres cuencas geográficas estudiadas. Por otra parte, una mayor percepción de sequía se asocia significativamente a una mayor probabilidad de adopción de medidas pro medio ambiente en áreas rurales; y en el caso de áreas urbanas, una mayor percepción de cambio climático se asocia en menor intensidad a medidas de cuidado medioambiental.

Para mayor detalle al respecto, favor revisar [Anexo 6-6-1](#).

5.1.4 Actividades de transferencia

Un componente fundamental dentro del proceso desarrollado es la posibilidad de intercambiar y transferir conocimientos técnicos entre el equipo investigador y los socios del proyecto. Para esto se configuraron una serie de actividades de transferencia técnica y talleres de capacitación, tanto para los investigadores en aplicaciones específicas como para el uso de los modelos por parte de los actores interesados. En la Tabla 5-3 se listan las principales actividades de transferencia desarrolladas por el proyecto.

Tabla 5-3. Tallares de transferencia desarrollados durante el proyecto.

Actividad	Fecha / Lugar	Público	Descripción	Relator/es	Asistentes	Anexo
Taller Lanzamiento del proyecto	Centro de Extensión UC Dic - 2012	Actores del Proyecto	En este informe se presentan los objetivos de este taller de lanzamiento, así como también una presentación de los principales aspectos que fueron parte de la discusión de los participantes y algunas ideas de los próximos pasos en relación a los diferentes actores del proyecto	Sebastian Vicuña, CCG-UC	19	5-1-7
Taller WEAP PGM	Facultad de Agronomía UC Nov - 2012	Grupo Investigadores	Taller aplicado de presentación y uso del módulo de modelación de cultivos Plant Growth Model (PGM) implementado en la plataforma WEAP.	Francisco Flores, (SEI)	14	5-1-8
Taller WEAP – Glaciares	Escuela de Ingeniería, Universidad de Chile Nov - 2012	Grupo Investigadores	Taller aplicado de presentación y uso del módulo de modelación glaciár implementado en la plataforma WEAP.	Marisa Escobar, (SEI)	14	5-1-9
1 ^{er} Taller WEAP	Learning Center Group, 3 – 5 Junio 2013	Actores del Proyecto	El taller de capacitación de modelación hidrológica WEAP plantó su desarrollo en base a dos grupos temáticos. El primero de estos se enfocó en la capacitación de profesionales y académicos sin experiencia previa en el uso del modelo WEAP. El segundo bloque	Eduardo Bustos, CCG-UC Sebastián Bonelli, CCG-UC	36	5-1-10

Actividad	Fecha / Lugar	Público	Descripción	Relator/es	Asistentes	Anexo
			tuvo como objetivo la implementación de las funciones aprendidas previamente, en ejercicios prácticos desarrollados en el modelo del río Maipo.			
Taller Generación de Escenarios Climáticos	Learning Center Group, 2 – 3 Julio 2013	Grupo Investigadores	El objetivo de este taller fue la presentación y discusión de contenidos y herramientas asociados a la generación de escenarios climáticos de corto y mediano plazo y su uso como apoyo a la toma de decisiones.	Lisa Goddard, IRI, Universidad de Columbia Walter Baethgen, IRI, Universidad de Columbia	21	5-1-11
Taller WEAP - MODFLOW	Facultad de Ingeniería, UC Agosto 2013	Grupo Investigadores	Taller dirigido al equipo de investigadores en donde se revisó el componente de modelación de aguas subterráneas existente en WEAP, así como la interacción entre esta plataforma y el modelo MODFLOW.	Charles Young, Stockholm Environment Institute	10	
2do Taller WEAP - Socios	Learning Center Group, 1 – 3 Julio 2014	Actores del Proyecto	El enfoque de este taller fue por una parte la revisión de los conocimientos adquiridos durante al taller inicial WEAP desarrollado en Junio del 2013. También se capacitó en el uso WEAP a un nivel intermedio y finalmente revisó en detalle el desarrollo realizado en las aplicaciones específicas en el modelo WEAP del	Eduardo Bustos, CCG-UC Sebastián Bonelli, CCG-UC Sebastian Vicuña, CCG-UC Yuri Castillo, FCFM, Universidad de Chile	27	5-1-12

Actividad	Fecha / Lugar	Público	Descripción	Relator/es	Asistentes	Anexo
			Rio Maipo. Los temas tratados fueron: • Hidrología y clima en montaña (1 Julio) • Oferta y consumo de agua a nivel rural/agricultura (2 Julio) • Oferta y consumo de agua a nivel urbano/ciudad (3 Julio)	James McPhee, FCFM, Universidad de Chile Lenin Henriquez, CCG-UC Francisco Flores, Stockholm Environment Institute		
Taller Modelación Calidad de Aguas - WEAP Qual2K	Facultad de Ingeniería, UC 12 noviembre 2014	Grupo Investigadores	El enfoque de este taller fué la modelación de calidad de agua en la plataforma WEAP. Se capacitó en el uso WEAP a nivel intermedio, abarcando módulos básicos introductorios y de calidad de agua. Finalmente, revisó la conexión de los modelos WEAP y QUAL2K a través de la presentación de un caso de estudio.	María Jaramillo, Fernanda Instituto CINARA.	9	5-1-13
Taller Internacional MAPA-CEPAL	CEPAL, Santiago Chile 2 – 4 junio 2015	Investigadores región latinoamericana y actores locales	En este taller se compartieron experiencias en torno al desarrollo del proyecto MAPA en los ejes principales de trabajo y contó con el apoyo de expertos de las distintas instituciones socias y colaboradores del proyecto como el Stockholm Environment Institute, la red AQUASEC - Centro de Excelencia en Seguridad Hídrica y la Facultad de	Equipo Investigación MAPA, más invitados internacionales. Ver anexo para detalle.	48	5-1-14

Actividad	Fecha / Lugar	Público	Descripción	Relator/es	Asistentes	Anexo
			Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile entre otros. Asimismo, el taller sirvió como una instancia para discutir las experiencias de proyectos o desafíos similares que existan en la región, a partir de la participación de 26 expertos provenientes de 13 países de la región y más de 20 representantes de instituciones locales			
Taller IDAM	Learning Center Group, 10 – 12 noviembre 2015	Actores del Proyecto	El enfoque de este taller fué la revisión y traspaso de los conocimientos adquiridos y herramientas desarrolladas durante las distintas etapas del proyecto MAPA en torno a los ejes estructurantes de la estrategia IDAM. Algunas de las herramientas que se trabajaron en el taller de capacitación se asocian al modelo WEAP, desarrollo de escenarios futuros, plataforma Molino y toma de decisiones para medidas de adaptación. El taller siguiendo estos lineamientos se dividió en las temáticas que representan el marco IDAM	Sebastian Vicuña, Centro de Cambio Global UC Eduardo Bustos, Centro de Cambio Global UC Pablo Merino, Centro de Cambio Global UC Fernando Neira, Centro de Cambio Global UC David Poblete, Centro de Cambio Global UC Sebastian Bonelli, Centro de Cambio Global UC Lenin Henriquez, Escuela de Ingeniería UC	17	5-1-15

Actividad	Fecha / Lugar	Público	Descripción	Relator/es	Asistentes	Anexo
			• Institucionalidad/Marco general (10 Noviembre) • Escenarios Futuros (10 Noviembre) • Modelos / Herramientas (11 Noviembre) • Desempeño (12 Noviembre) • Medidas y proceso de adaptación (12 Noviembre)	Cristian Chadwick, Escuela de Ingeniería UC Camila Echeverría, Escuela de Ingeniería UC Sarah Jansen, Departamento de Economía Agraria UC Marina Gil, Departamento de Economía Agraria UC		
Taller Análisis de Vulnerabilidad	Centro de Extensión Pontificia Universidad Católica de Chile 6 mayo 2014	Actores del Proyecto	El objetivo de este taller fue la presentación y discusión de conceptos y herramientas asociados a la evaluación de vulnerabilidad en sus distintas dimensiones desde aspectos sociales a físicos. Se discutió qué es la vulnerabilidad y por qué queremos estudiarlo. A continuación, se revisaron herramientas de evaluación para entender lo que pueden hacer y cómo. Por último, se discutió la forma de desarrollar una lista de criterios para una localización dada (o grupo de personas) para ayudar a determinar el tipo de herramientas que podrían ser útiles para una evaluación de la vulnerabilidad en ese lugar.	Lisa Schipper, Stockholm Environment Institute, Suecia Francisco Meza, Centro de Cambio Global UC Jonathan Barton, CEDEUS Sebastian Vicuña, Centro de Cambio Global UC David Poblete, Centro de Cambio Global UC	15	5-1-16

Actividad	Fecha / Lugar	Público	Descripción	Relator/es	Asistentes	Anexo
Taller Análisis Institucional	Centro de Extensión Pontificia Universidad Católica de Chile 6 mayo 2014	Actores del Proyecto	Este taller dirigido a actores participantes del proyecto tuvo como objetivo el revisar los siguientes componentes del análisis institucional: • Institucionalidad del Cambio Climático y la adaptación (Planes sectoriales y espaciales) • Organización institucional: líderes, responsables generadores de información, relación público-privada. • Institucionalidad de las medidas: ejes temáticos agua, uso suelo, ruralidad • Espacial: relación entre distintas zonas de una cuenca (aguas arriba - abajo)	Christopher Scott, Centro Udall de Estudios en Políticas Públicas, U. Arizona. Guillermo Donoso, Pontificia Universidad Católica Sebastian Vicuna, Centro de Cambio Global UC Sebastian Bonelli, Centro de Cambio Global UC	15	5-1-17

5.1.5 Formación de capital humano avanzado

Uno de los objetivos del proyecto MAPA fue la formación de capital humano avanzado en las distintas áreas de interés del proyecto. Así un importante número de estudiantes de postgrado integraron el equipo de investigación del proyecto, asociados al trabajo liderado por los distintos académicos participantes. En la Tabla 5-4 se listan los estudiantes y postdoctorantes asociados. En una sección posterior se presentarán los productos resultantes de sus estudios, tales como tesis de postgrado, participación en congresos y reuniones científicas y/o publicaciones académicas.

Tabla 5-4. Estudiantes de Postgrado y postdoctorantes asociados al proyecto.

Estudiante	Nacionalidad	Unidad Académica	Programa	Área de Trabajo	Profesor Guía	Fecha término
Francisca Salinas	Chile	Instituto de Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile	Magister	Caracterización riego de parques urbanos y su adaptación al cambio climático	Sonia Reyes	2013
Yuri Castillo	Chile	Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile	Magister	Modelación glaciaria con plataforma WEAP	James McPhee	2015
Ricardo Carrillo	Chile	Departamento de Ecosistemas y Medio Ambiente, Facultad de Agronomía UC	Magister	Monitoreo y caracterización de las dinámicas de sedimentos en cuencas glaciarias	Luca Mao	2015
Sarah Jensen	Brasil	Departamento de Economía Agraria, Facultad de Agronomía UC	Magister	Seguro agrícola basado en índices climáticos para sequías hidrológicas como una estrategia de adaptación al Cambio Climático en Chile	Guillermo Donoso	2015
Damián Tosoni	Argentina	Departamento de Ecosistemas y Medio Ambiente, Facultad de Agronomía UC	Doctorado	Monitoreo y caracterización de flujos de vapor de agua en cubiertas vegetales	Francisco Meza	2017
Pedro Sanzana	Chile	Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Escuela de Ingeniería UC	Doctorado	Hidrología periurbana: modelación e interacción con aguas subterráneas	Jorge Gironás	2017
Lenin Henríquez	Honduras	Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Escuela de Ingeniería UC	Doctorado	Caracterización y modelación de demanda y oferta de agua por la agricultura	Jorge Gironás	2018

Estudiante	Nacionalidad	Unidad Académica	Programa	Área de Trabajo	Profesor Guía	Fecha término
Camilo Ruiz	Ecuador	Departamento de Economía Agraria, Facultad de Agronomía UC	Magister	Modelos econométricos de consumo de agua domiciliaria	Oscar Melo	2015
Camila Echeverría	Chile	Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Escuela de Ingeniería UC	Magister	Modelos de calidad de aguas – QUAL2K	Gonzalo Pizarro	2015
Marina Gil	España	Departamento de Economía Agraria, Facultad de Agronomía UC	Postdoc	Mercado de aguas en contextos de cambio climático	Guillermo Donoso	2015
Anahí Ocampo	Bolivia	Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Escuela de Ingeniería UC	Postdoc	Desarrollo de marco conceptual para el diseño de indicadores de desempeño	Sebastian Vicuña	2015
Ángela Hernández	Colombia	Departamento de Ecosistemas y Medio Ambiente, Facultad de Agronomía UC	Postdoc	Consumo de agua por prácticas de riego de parques y jardines urbanos	Sonia Reyes	2015
Cynamon Dobbs	Chile	Departamento de Ecosistemas y Medio Ambiente, Facultad de Agronomía UC	Postdoc	Caracterización riego de parques urbanos y su adaptación al cambio climático	Sonia Reyes	2014

5.1.6 Comunicación y difusión del conocimiento

Con el objeto de dar a conocer los aprendizajes del proyecto a diversos públicos, se desarrollaron una serie de actividades de extensión abiertas al público general en temáticas como la relación entre ciencia y la toma de decisiones y la gobernanza de los recursos hídricos, así como una serie de elementos de comunicación, tales como una página web, boletines de noticias y videos del proyecto.

5.1.6.1 Seminarios de Extensión

A continuación, se presenta el listado con los seminarios de extensión desarrollados, así como sus objetivos y/o expositores.

Tabla 5-5. Seminarios de Extensión desarrollados en el marco del proyecto.

Nombre del Evento	Lugar - Fecha
Seminario de Lanzamiento Proyecto	Centro de Extensión Pontificia Universidad Católica de Chile 13 Diciembre 2012
Descripción Los objetivos de este taller fueron los siguientes: • Discutir los objetivos del proyecto. • Presentar al equipo de investigadores y consultores que van a estar guiando las actividades de investigación y desarrollo de herramientas/información del proyecto. • Presentar al Grupo de Construcción de Escenarios y Validación de Supuestos (GCEVS), discutir las expectativas planteadas en este grupo. • Dar a conocer las actividades de investigación, difusión y capacitación que se desarrollaran a lo largo de proyecto y las necesidades de información y expertise que se espera obtener del GCEVS.	
Seminario "Ciencia y toma de decisiones para la adaptación al cambio climático"	Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile 4 Julio 2013
Exposiciones: • Sebastián Vicuña. Centro UC de Cambio Global, PUC. Cambio climático y agua: desde la evaluación de impactos a la adaptación. • Christopher Scott. Udall Center, Universidad de Arizona. Diálogo entre ciencia y política para la seguridad hídrica: fortaleciendo la adaptación al cambio global en zonas áridas de las Américas. • Walter Baethgen. Inst. Internacional de Investigación para el Clima y la Sociedad (IRI) Cómo incorporar la adaptación a la variabilidad y el cambio climático en políticas y planes de desarrollo.	
Seminario: Gobernanza del agua: Desde lo global a lo local	Centro de Extensión, Pontificia Universidad Católica de Chile 7 Mayo 2014

Exposiciones:

- Reinaldo Ruiz Delegado presidencial para los Recursos Hídricos
- Fernando Peralta Presidente de la Confederación de Canalistas
- Rodrigo Figueroa Decano de la Facultad de Agronomía, UC
- Sara Larraín Directora Programa Chile Sustentable
- Ruben Zondervan, Earth System Governance
 - “La gobernanza del agua a nivel internacional”
- Axel Dourojeanni, Fundación Chile
 - “La gobernanza del agua a nivel latinoamericano”
- Guillermo Donoso, Profesor UC
 - “Los desafíos de la institucionalidad del agua en Chile”
- Christopher Scott, Profesor Universidad de Arizona
 - “La gobernanza de la adaptación al cambio climático. El caso del río Maipo”
- Mesa redonda de discusión (12.30-13.00). Modera Jonathan Barton, CEDEUS

Seminario de cierre de Proyecto:
Vulnerabilidad y adaptación a la variabilidad y
al cambio climático en la Cuenca del Río Maipo
en Chile Central

Casa Central, Pontificia Universidad Católica de
Chile
19 Enero 2016

Exposiciones:

- Palabras de Bienvenida
 - Sol Serrano, Vicerrectora de Investigación, Pontificia Universidad Católica de Chile
 - Francisco Meza, Director Centro de Cambio Global UC
 - Luis Huerta, Director (s) Dirección General de Aguas
 - Marcelo Mena, Subsecretario del Medio Ambiente
- Presentación Resultados del Proyecto MAPA
 - Sebastián Vicuña, Director Proyecto MAPA
- Mesa de Discusión con actores locales
 - James McPhee, Prof. Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
 - Flavia Liberona, Directora Ejecutiva, Fundación Terram
 - Carmen Herrera, Directora Regional de Aguas, Región Metropolitana
 - Fabiola Freire, SEREMI Agricultura, Región Metropolitana
 - Javier Carvallo, Juez de Aguas, Primera Sección del río Maipo
 - Verónica Rodríguez, Profesional SEREMI Medio Ambiente, Región Metropolitana
 - Felipe Larraín, Presidente de Aguas Andinas S.A.
- Mesa de Discusión instituciones internacionales
 - José Luis Samaniego, Director División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos, CEPAL
 - David Purkey, Líder del Grupo de Recursos Hídricos del Instituto del Ambiente de Estocolmo (SEI)
 - Walter Ubal, Especialista Senior de Programa de IDRC - Canadá

5.1.6.2 Página Web

Como parte central de la estrategia de comunicación del proyecto MAPA, estuvo la creación de un sitio web que sirva como plataforma de comunicación del proceso desarrollado, tanto como una bitácora de las actividades realizadas, así como repositorio de los distintos documentos y productos generados, actividades y antecedentes que sustentaron el proyecto.

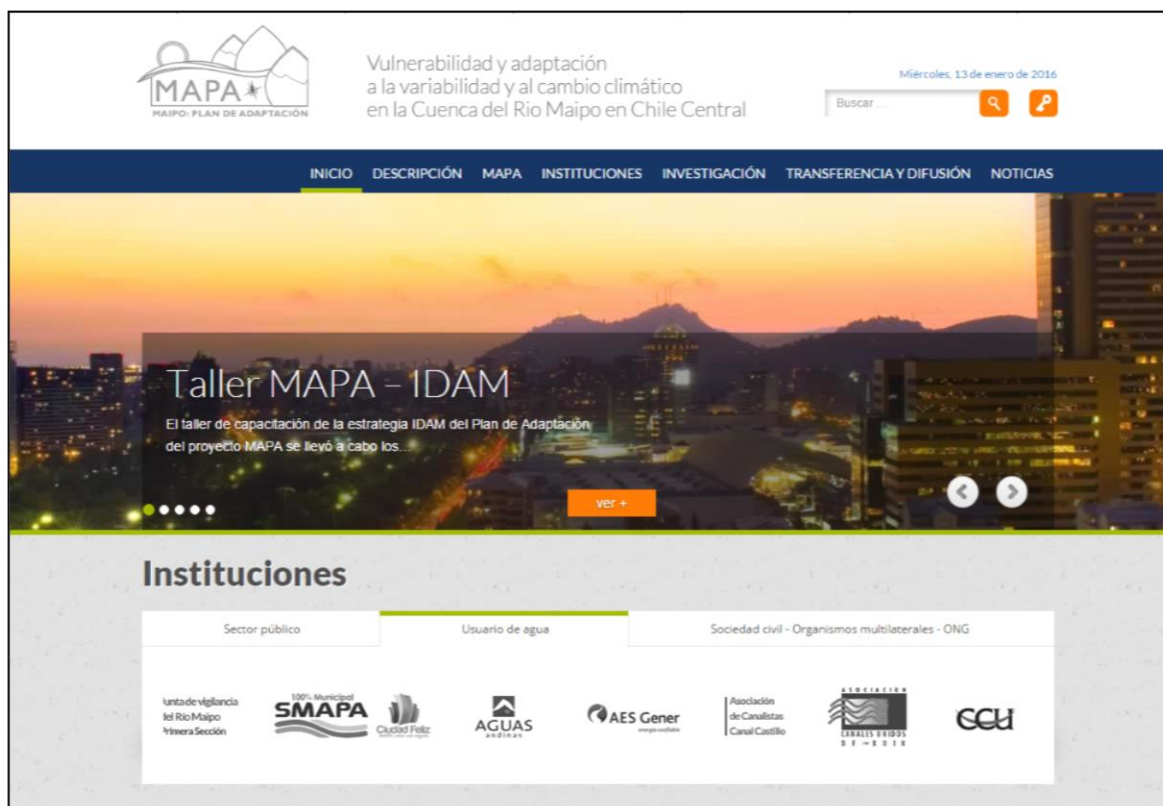


Figura 5.1. Vista de la página de inicio del sitio web del proyecto.

Se busca en esta página, el dar cuenta del proceso desarrollado, sus metodologías y bases teóricas que sustentan su trabajo, relevando la participación de las distintas instituciones que formaron parte del Grupo de Construcción de Escenarios, y poniendo a disposición los distintos elementos de investigación.

Actualmente la página web se encuentra en proceso de remodelación con el objeto de optimizar y mejorar la visibilidad de los productos generados, y aumentar su valor como plataforma de publicación de contenidos asociados al proyecto. Adicionalmente como parte del trabajo final de comunicación de resultados se están desarrollando videos explicativos con los principales resultados del proyecto.

5.1.6.3 Newsletter o Boletín de Noticias

Se estructuró la publicación de una serie de boletines del proyecto, con el objeto de acercar, de manera resumida, didáctica y amplia, los distintos componentes tratados por el proyecto, tales como una descripción de las instituciones participantes, trabajo realizado por el Grupo de Construcción de Escenarios (GCE), avances en las distintas líneas de investigación y contenidos de interés general. El espíritu de esta publicación fue el involucrar a los actores del proyecto en la co-creación de este boletín, así como también estructurar los distintos números publicados según distintas temáticas, tales como el sector urbano, sector agrícola, ecosistemas y áreas naturales, etc.

La entrega de información en cada número del Newsletter se clasificaba en 4 secciones bien definidas. Cada boletín partía con una sección que contenía una breve nota introductoria. Cada uno de los actores del proyecto fue presentándose en una segunda sección del Boletín. La tercera sección describía las actividades en que había estado trabajando el Grupo de Construcción de Escenarios. Y las últimas secciones se dedicaban a la entrega de información primero más específica al proyecto (información de las líneas de investigación) y después a información de conocimiento más de base de conceptos y elementos propios del cambio climático.

De acuerdo a la planificación de entrega de temas y presentación de actores el plan original fue el de publicar 6 números del Boletín a una escala semestral. A la fecha se han entregado 5 de los 6 boletines ([Anexos 5-1-18](#), [5-1-19](#), [5-1-20](#), [5-1-21](#) y [5-1-22](#)). Posteriormente al cierre de este informe se realizará el cierre del último número. Cada uno de los números ha sido impreso con un tiraje aproximado de 300 ejemplares, de los cuales alrededor de 250 fueron distribuidos mediante correo certificado a actores participantes y otros interesados en el proyecto. Asimismo, se generó una versión en papel digital, la cual puede ser accedida en el sitio <https://issuu.com/maipoadaptacion>, además de ser publicada en el sitio web del proyecto.

5.2 Actividades Objetivo 2

5.2.1 Definición concepto vulnerabilidad/indicadores de desempeño

Se realizaron una serie de actividades con el propósito primero de tener una discusión ampliar respecto del concepto de vulnerabilidad y su uso en la actualidad. El hito más relevante en esta etapa fue el Taller liderado por la Investigadora del SEI Lisa Schipper (Sección 5.1.4, [Anexo 5-2-1](#)).

La bajada práctica de este concepto en relación a las necesidades de crear indicadores de desempeño (marco IDAM) comenzó con un Taller de trabajo de tipo Open Space donde se planteó a los miembros del GCE la siguiente pregunta: “¿Cuáles son las principales características de nuestra visión de futuro de la cuenca?” ([Anexo 5-1-3](#)). Los resultados de este trabajo fueron refinados posteriormente en reuniones sucesivas del GCE y reuniones sectoriales (ver a continuación) para finalizar con un marco de trabajo para la identificación de indicadores de desempeño basado en los conceptos de seguridad hídrica-bienestar humano y servicios ecosistémicos. Mayores detalles respecto de este producto del proyecto se presenta en la sección 7.2 .

5.2.2 Reuniones Sectoriales

Para poder entender los indicadores de desempeño (vulnerabilidad), las relaciones de sensibilidad y vulnerabilidad al cambio en el clima de los distintos sectores relevantes en la cuenca pero además poder definir estrategias de adaptación se desarrollaron en el proyecto una serie de reuniones de trabajo sectoriales dividiendo los actores en tres grandes grupos:

- Sector agrícola – 4 reuniones
- Sector urbano – 5 reuniones
- Sector ecosistemas/cordillera – 3 reuniones

Estas instancias de trabajo permitieron profundizar el trabajo desarrollado en las reuniones plenarias del Grupo de construcción de escenarios, generando un intercambio efectivo entre el grupo de investigadores y los actores específicos de cada sector. Permitieron a su vez la revisión de supuestos y el intercambio de información valiosa, tanto para la construcción de las herramientas de modelación, así como el diseño de medidas de adaptación.

En términos generales en cada una de estas reuniones de trabajo con los grupos específicos, se contó en promedio con una participación más de 10 personas representantes de una cantidad similar de las principales instituciones representantes de cada sector.

Algunas de las minutas de las reuniones que se desarrollaron para los sectores agrícola, urbano y cordillera se presentan en los [anexos 5-2-2](#), [5-2-3](#) y [5-2-4](#), respectivamente. Por otra parte, para cada uno de estos sectores o sistemas se desarrollaron otras actividades específicas que se describen a continuación.

5.2.3 Actividades Sector Urbano

La ciudad de Santiago posee una población de más de 6 millones de personas. Sumado a esto, existe un alto nivel de actividad industrial y comercial que genera una gran presión sobre los recursos hídricos presentes en la cuenca del Maipo. El consumo de agua potable dentro de la ciudad corresponde al segundo mayor uso del recurso luego de la agricultura a nivel de cuenca, lo que hace necesario comprender y caracterizar cómo es el proceso en que la demanda urbana es satisfecha. Asimismo, las coberturas de suelo y usos del mismo son muy diversos al interior de la ciudad, por lo que se hace imperante el poder avanzar en la caracterización del territorio a una escala adecuada para el cumplimiento de los objetivos del estudio.

A continuación, se describen las líneas de investigación y actividades desarrolladas para poder entender la sensibilidad y vulnerabilidad del sector urbano dentro del proyecto.

5.2.3.1 Caracterización de consumo de agua urbano

Otro componente desarrollado fue el análisis y estudio de la demanda de agua por la ciudad de Santiago el cual buscó responder algunas preguntas como: ¿cuán sensibles son los consumidores ante un cambio del precio marginal del agua potable?, ¿Es posible determinar las principales

variables que tienen impacto significativo en el consumo de agua potable en Santiago de Chile? Para ello se utilizaron variables explicativas de carácter económico, sociodemográfico y climático.

Se estimó una función de demanda de agua potable utilizando el estimador de Máxima verosimilitud (MV) y un Modelo de Elección Discreta Continua (DCCM), el cual permitió corregir el problema de endogeneidad existente en el contexto de una estructura tarifaria de dos bloques crecientes y representar adecuadamente las preferencias del hogar respecto a su consumo de agua potable.

Para la construcción del modelo y el análisis se trabajó en base al consumo mensual de una muestra final de 227 hogares observados entre el 2011 y el 2014. Los resultados permitieron concluir que la sensibilidad al precio marginal es baja (-0.19), es decir, cuando el precio aumenta 1%, el consumo de agua disminuye 19%; asimismo, el efecto de la estructura tarifaria podría ser más influyente que la misma magnitud del precio, lo cual guarda relación con lo reportado en la bibliografía reciente y deja abierta la posibilidad de profundizar en el análisis de los límites de sobreconsumo vigentes a la presente fecha. Asimismo, se revela que una mayor percepción del gasto mensual en agua potable se traduce en un menor consumo, lo cual es también reportado en la literatura y podría sugerir que, ante la posible dificultad de interpretación de la estructura de la tarifa, el consumidor opta por fijarse en el nivel de gasto, por lo cual es una oportunidad para instruir al consumidor respecto al precio marginal y a la estructura de la tarifa y su efecto en el gasto mensual.

La sensibilidad al ingreso se encuentra dentro de lo esperado, esto es, cuando el ingreso mensual del hogar aumenta 1%, el consumo de agua potable se incrementa 13%.

Como parte de algunos resultados, fue interesante evidenciar el efecto en el consumo que tienen variables tales como la edad de la vivienda, pues revela la influencia de la evolución de las normas de construcción hacia el uso de equipos y conexiones sanitarias más eficientes que se traducen en un menor consumo en el tiempo, lo cual se ratifica con las estimaciones referentes al uso de duchas con sistemas de regulación de flujo; asimismo, el tamaño del patio, el tamaño de la familia y el número de inodoros (usada como proxy del número de baños) tienen una relación positiva con el consumo de agua potable. Finalmente, la temperatura captura la estacionalidad en el consumo y su incremento en un grado Celsius aumenta el consumo de agua en un 2%.

La información obtenida a partir de este trabajo puede servir como base para el diseño de políticas públicas en los ámbitos del planeamiento urbano y gestión ambiental que podrían, en el mediano y largo plazo, contribuir a mejorar el bienestar de la sociedad, que van desde la adopción de dispositivos de consumo eficiente dentro y fuera de las viviendas hasta el diseño de planes maestros de mantenimiento de las redes de abastecimiento de agua potable y saneamiento.

Para mayor detalle al respecto, favor revisar [Anexo 6-6-2](#).

5.2.3.2 Estimación de cobertura de suelo para el área metropolitana de Santiago.

Uno elemento relevante a la hora de entender el consumo de agua por la ciudad, es caracterizar el cómo están distribuidos los distintos usos de suelo al interior de la ciudad, con tal de identificar la proporción de áreas verdes, zonas residenciales, industriales, etc. que luego serán usados como insumos a la hora de modelar la demanda de agua. Es así como el uso de herramientas como

imágenes satelitales se vuelven muy útiles a la hora de poder acceder, con una escala adecuada, a esta dinámica de uso para regiones geográficas extensas.

Para la caracterización de los macro sectores de estudio generados para la modelación en la plataforma WEAP del área urbana de Santiago, se establece el objetivo de estimación de la superficie permeable versus impermeable dentro de cada uno de las 25 unidades generadas. Para esto, se propone el trabajo con imágenes Landsat 8 que corresponden al año 2013, de manera de obtener una caracterización actualizada de dichas áreas. A partir de la obtención de las imágenes, se desarrolla el pre procesamiento correspondiente (calibración radiométrica²) y posteriormente se calcula el Índice de Vegetación por Diferencias Normalizadas (NDVI), comúnmente utilizado en la generación de rangos representativos de comportamiento de coberturas de suelo (Figura 5.2).

Desde allí, se evalúan los rangos generados en el software ENVI 4.8, mediante las herramientas “Density slicing” e “Interactive stretching”, junto a la combinación falso color estándar (bandas 5, 4, 3) y Google Earth para el contraste entre los valores estadísticos del índice y la imagen real de los objetos. Una vez obtenidos los rangos representativos, se genera la vectorización para su integración con la información sobre macro sectores y el cruce con los polígonos del Catastro de Áreas Verdes 2013.

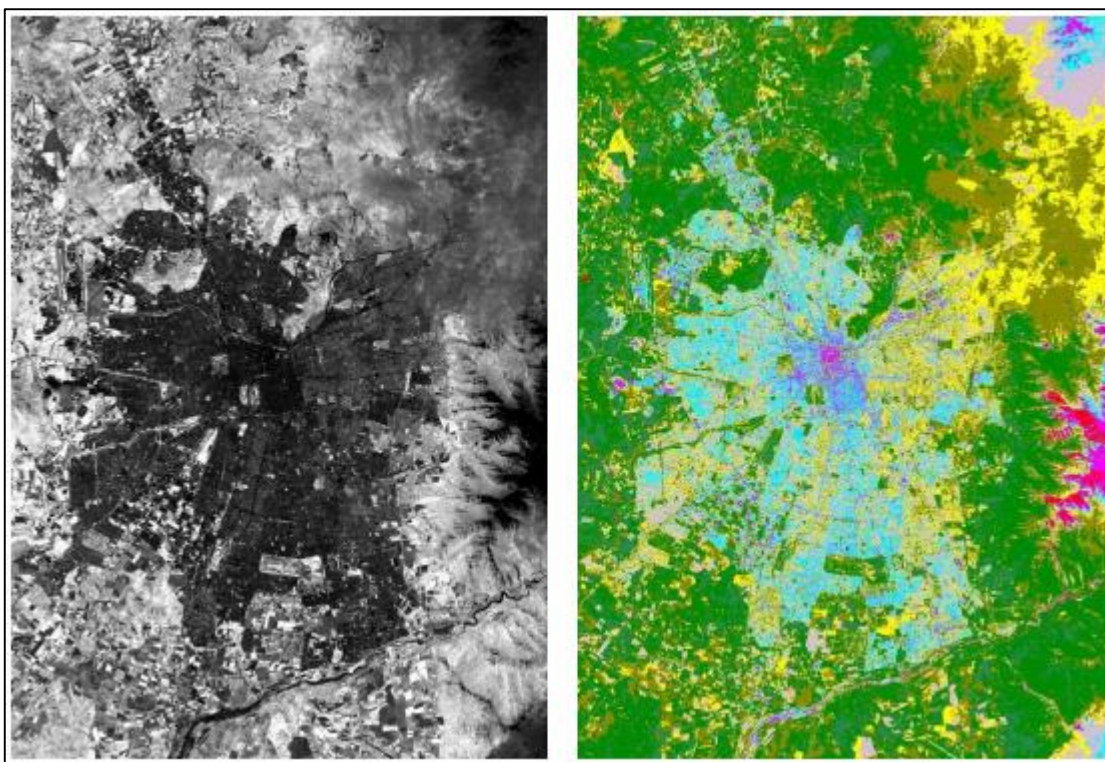


Figura 5.2. LANDSAT 8 MES SEPTIEMBRE. Izq.: proceso NDVI. Der.: clasificación de rangos

El objetivo general de esta actividad fue la caracterización de los macrosectores de análisis para la aplicación del modelo hidrológico WEAP a partir de la discriminación de coberturas de suelo presentes. Como parte de los objetivos específicos se avanzó en:

- Calibrar imágenes Landsat 8 como insumo base para el mes de abril y septiembre del año 2013.
- Calcular el índice NDVI para ambos meses
- Identificar rangos representativos de las coberturas de suelo presentes en el área de análisis
- Clasificar las imágenes según usos principales
- Cuantificar la cobertura de suelo para el área Metropolitana de Santiago
- Cuantificar la cobertura de suelo por macro sector de modelación
- Relacionar rangos identificados para vegetación a formas vegetales (herbáceas, leñosas, césped con mantención).

Los productos desarrollados como resultado de esta actividad se presentan en la sección 6.3

Para mayor detalle al respecto, favor revisar [Anexo 5-2-5](#).

5.2.3.3 Riego de Plazas y parques urbanos

La vegetación urbana entrega servicios ecosistémicos vitales para el bienestar de la población. En ciudades mediterráneas y semiáridas la vegetación requiere riego principalmente durante la época seca, pero el agua es un recurso escaso. El problema es más grave en ciudades que están en permanente crecimiento, ya que la demanda de agua crece producto del incremento poblacional. Con este trabajo se buscó generar información base para abordar este problema en el Área Metropolitana de Santiago (AMS). Se avanzó complementar la información generada con otros trabajos que incluyen la demanda fisiológica de las plantas y así proponer medidas de adaptación que hagan más sustentable el consumo de agua.

El objetivo del trabajo realizado, fue recopilar información relevante sobre consumos de agua y prácticas de riego en los parques, para aportar en la comprensión del consumo de agua para riego de áreas verdes urbanas. Es importante considerar que estos 16 parques, son áreas verdes de gran extensión, de más de 2 hectáreas, que en total corresponden a una superficie de 151 hectáreas de la ciudad de Santiago y que son parte del Programa de Parques Urbanos del Ministerio de Vivienda y Urbanismos (MINVU) y administrado por Parque Metropolitano. La metodología empleada combina métodos cualitativos, tales como: observación en terreno y entrevistas estructuradas a informantes claves (jefes de terreno y/o capataces de los parques). Es importante destacar que las visitas a terreno se realizaron entre el 25 de marzo y 24 de abril del 2013, durante el periodo en que aún se realizaban actividades de riego

Como parte de las conclusiones de este trabajo se plantea que, en el caso de estudio de Parque Metropolitano como unidad de investigación, el consumo de agua es escasamente dependiente de factores físicos, como la vegetación, sino que dependen en mayor medida de decisiones que se toman a nivel administrativas y de las prácticas de riego que se tienen individualmente. En este sentido, la vegetación, independiente de la necesidad de agua que tenga, es regada de igual manera, ya que culturalmente las formas de riego son conductas aprendidas que cuesta mucho modificar. Si bien, los fiscalizadores de Parque Metropolitano, pueden corregir prácticas de riego, que eso quede incorporado en las prácticas, es muy complejo y tarde mucho tiempo. Si bien las zonas complejas

de mantener son las zonas de pasto, ya sean cancha o explanadas, estas áreas son extremadamente usadas, ya sea por equipos de fútbol o por la comunidad en general, que juega y hace uso intensivo de ellas. La complejidad de estas áreas se debe a que, además de tener un intenso uso, demandan mucha agua para su cuidado, porque sobre todo en zonas de mucha exposición al sol, el pasto es muy propenso a secarse. Sin embargo, a pesar de los problemas que implica la presencia de pasto, según nuestros entrevistados, son la vegetación que la gente más demanda, ya que les permite suplir la carencia de áreas verdes que tienen en sus casas y les entrega un espacio de recreación y descanso. En este sentido, se debe hacer una reflexión respecto a su uso y la capacidad que se tiene de mantener este tipo de vegetación, considerando las condiciones climáticas de la ciudad de Santiago. Las decisiones administrativas, respecto a que sanciones imponer a los contratistas o por ejemplo la duración de los contratos, que al variar entre los 12 y 36 meses y que no permiten que el contratista pueda realizar un trabajo de más largo plazo en el parque, son elementos fundamentales que también influyen en la demanda de agua y que van afectando en el largo plazo la mantención óptima, la incorporación de tecnologías o de innovación y la sustentabilidad de los parques a nivel de uso de recursos de manera eficiente. En este sentido, si la tendencia es al aumento de las áreas verdes de gran extensión, con un modelo de administración mediante subcontratos, se debe considerar que medidas pueden contribuir a que el modelo de gestión vaya mejorando y permita que los parques sean una contribución, y no problema, en escenarios futuros de variabilidad climática y de cambio climático, donde la eficiencia en el uso de recursos, como por ejemplo el agua, es un tema clave.

Para mayor detalle al respecto, favor revisar [Anexo 5-2-6](#).

5.2.4 Actividades Sector Agrícola

La cuenca del Río Maipo cuenta con una superficie agrícola de cercana a las 138.000 há., las cuales poseen alrededor del 85% de los derechos consuntivos de aprovechamiento del recurso hídrico en dicha cuenca. Las principales extracciones de los ríos son administradas y distribuidas por las Asociaciones de Canalistas que, desde el punto de vista de la gestión del agua, son las encargadas aportar el agua necesaria para la agricultura en una determinada zona a través de su red de canales y por ello se han constituido en la unidad de análisis básica para el modelo rural. Por tanto, ha sido de suma importancia en el contexto del proyecto MAPA, conocer las extracciones que se hacen del río y los requerimientos que las diversas asociaciones tienen, con el fin de simular la gestión actual del agua y evaluar diferentes esquemas o alternativas de adaptación bajo escenarios futuros (objetivo 3 del proyecto MAPA).

Se ha accedido a diversas fuentes de información de instituciones como INE, ODEPA, DGA, GORE-RM, SAG y la Junta de vigilancia de la Primera Sección del Maipo. Especial énfasis se ha dado a la delimitación del área de influencia de cada asociación de canalistas como unidad de análisis y a la identificación de los principales cultivos en cada una de ellas para caracterizar el consumo en cada asociación (Figura 5.3). Se delimitaron 7 asociaciones de canalistas y simulamos una matriz agrícola de 21 cultivos bajo 15 escenarios futuros de clima con varias opciones de adaptación.



Figura 5.3. Derecha: Delimitación de sub-cuencas y distritos censales en Asociación de Canalistas de Pirque; Izquierda: Revisión de límites con gerentes de Asociaciones de Canalistas (Huidobro y Buin).

Los resultados obtenidos pueden ser utilizados como base para la gestión futura del recurso hídrico en donde lo más probable es que la disponibilidad de agua en cada asociación disminuya y la demanda de los diferentes cultivos aumente. Los resultados muestran que es posible una adaptación ante los efectos de los escenarios de cambio climático en la primera sección del río Maipo y que sus efectos no son muy dramáticos en términos de rendimiento o producción, sin embargo, aún resta incluir otras regiones dentro del análisis (Lampa/Colina/Angostura) para completar el panorama general de la cuenca.

5.2.5 Actividades Sector Ecosistemas/cordillera

En lo que respecta a la identificación de vulnerabilidad de ecosistemas, se avanzó en el entendimiento respecto a las dinámicas de arrastre de sedimento en sistemas alto andinos. Para esto se realizó un monitoreo de turbidez en la Cuenca del Estero Morales, una pequeña cuenca de 27 km² que desemboca en el Río Volcán, afluente cordillerano del río Maipo (Figura 5.4). En la cuenca está presente el Glaciar San Francisco de 1.8 km², lo que genera fluctuaciones diarias de caudal entre Octubre y Marzo producto del derretimiento de nieve y posteriormente del glaciar. A través de la dinámica de transporte de sedimentos en suspensión, se evaluó durante dos años se evaluó el cambio en la disponibilidad y fuentes de sedimentos.

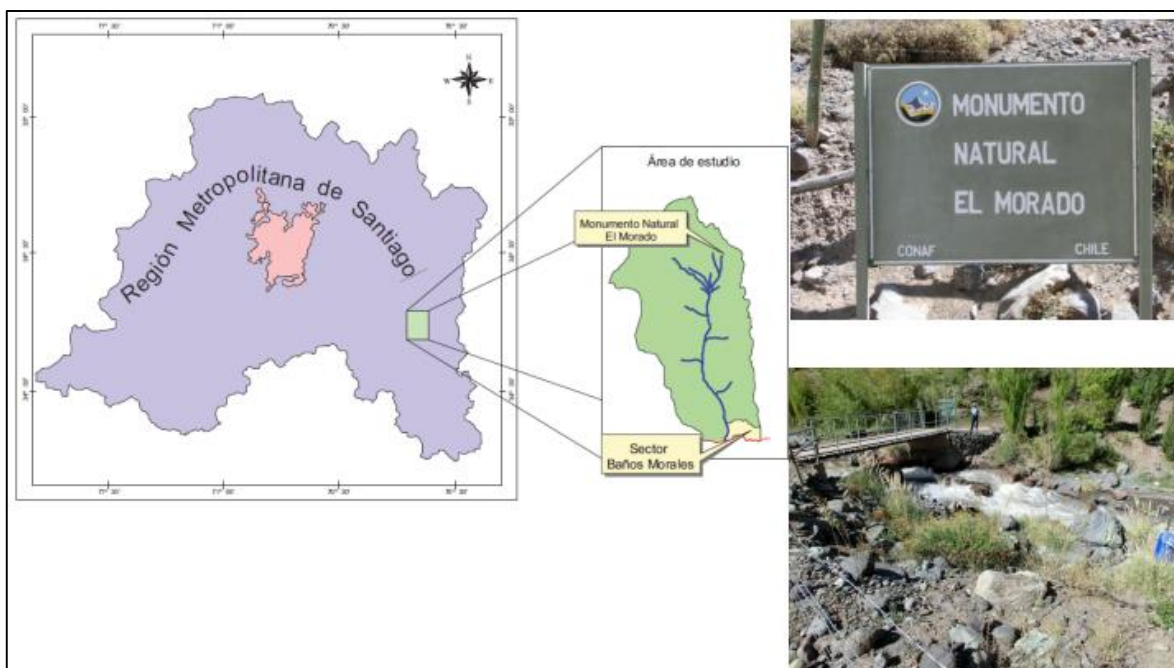


Figura 5.4. Ubicación cuenca estero Morales en la alta cordillera del río Maipo

Los resultados y análisis muestran que se reduce la disponibilidad de sedimentos entre Octubre y Marzo: alta disponibilidad en Octubre y muy baja en Marzo, transportándose aproximadamente la mitad de la producción de sedimento en suspensión ($470 \text{ ton año}^{-1} \text{ km}^{-2}$) durante el periodo de derretimiento de nieve y la otra mitad durante el derretimiento de glaciar, ambos procesos concentrados en los meses de verano. Además, se observa la existencia de un cambio de fuentes de sedimentos en el mismo periodo: desde las laderas de montaña en la parte baja-media de la cuenca durante el derretimiento de nieve, hacia la parte alta del glaciar cuando a la única fuente de agua es el glaciar.

5.3 Actividades Objetivo 3

5.3.1 Presentación Modelo WEAP

Uno de los principales desafíos del proyecto MAPA fue la integración de distintos componentes del sistema natural y humano en un marco de análisis que permita estudiar las condiciones actuales y futuras de oferta y demanda de los recursos hídricos, incluidos aspectos de calidad del agua. En este sentido, y siguiendo el desarrollo del Objetivo N° 3 del proyecto: “Diseñar una herramienta de modelación que integre la oferta y demanda de agua, teniendo en cuenta elementos de calidad y cantidad de agua, bajo escenarios de variabilidad y cambios en el clima”, es que se ha adoptado al modelo WEAP como una herramienta de modelación clave para el proyecto.

WEAP es una herramienta de simulación para la planeación integrada de recursos hídricos (<http://www.weap21.org>), que analiza sistemas de suministro de agua enmarcados en un contexto de demanda de uso, calidad de agua y protección y preservación de ecosistemas. WEAP es una herramienta desarrollada por el Stockholm Environment Institute (SEI), una organización

internacional de investigación científica sin fines de lucro, que ha estudiado aspectos ambientales y de desarrollo a nivel de política local, nacional, regional y mundial durante más de 20 años.

El modelo WEAP se destaca por su método para simular sistemas de recursos hídricos y por su capacidad para analizar políticas de manejo del recurso. WEAP balancea la ecuación entre la demanda y la oferta de agua con una capacidad para tratar un amplio rango de temas, incluyendo análisis de demanda sectorial, conservación de agua, derechos de agua y transferencia de prioridades, modelación de precipitación-escorrentía y flujos mínimos, operaciones de embalses, generación de hidroelectricidad, calidad del agua, requerimientos de ecosistemas, y análisis de costo-beneficio de proyectos entre otros. En el marco del proyecto MAPA, con el apoyo de cuatro investigadores del SEI-US (Dr. David Purkey, Dr. Charles Young, Dra. Marisa Escobar y el Dr. Francisco Flores-Lopez) se ha desarrollando un modelo WEAP para la cuenca del río Maipo que considera la hidrología superficial y usos en la zona de cabecera. Adicionalmente en la zona de cabecera se ha implementado para una cuenca piloto un módulo específico al interior del modelo WEAP para la modelación explícita de hidrología y dinámica glaciar, a partir de la parametrización de un modelo para los glaciares San Francisco y Pirámide. En la zona intermedia el modelo incluye una modelación explícita del sistema de producción y distribución de agua potable para parte importante de la ciudad de Santiago, el cual complementa el desarrollo de modelos que representan las dinámicas de consumo de agua por la ciudad, tanto de su componente domiciliario, como desde el riego de parques y áreas verdes. Para el caso de las zonas agrícolas, se utilizó un modelo de simulación de cultivos integrado en WEAP, llamado Plant Growth Model (PGM), el cual es capaz de estimar rendimientos de cultivos, demandas de agua para riego, eficiencias de aplicación y caudales de retorno.

Se contempló también en la zona intermedia de la cuenca avances en la comprensión de la dinámica de aguas subterráneas y se representación mediante herramientas de simulación que permitiesen estudiar las interacciones existentes en el acuífero Maipo-Mapocho, sus recargas y extracciones y su efecto en la disponibilidad de agua para la cuenca. Finalmente, se desarrolló un modelo de calidad de aguas mediante la plataforma Qual2K, para la zona baja del área de estudio, el cual permitirá evaluar posibles escenarios futuros de calidad de aguas para algunos tramos específicos del río Mapocho. Un esquema de los modelos desarrollados en la plataforma WEAP se presenta en la Figura 5.5.

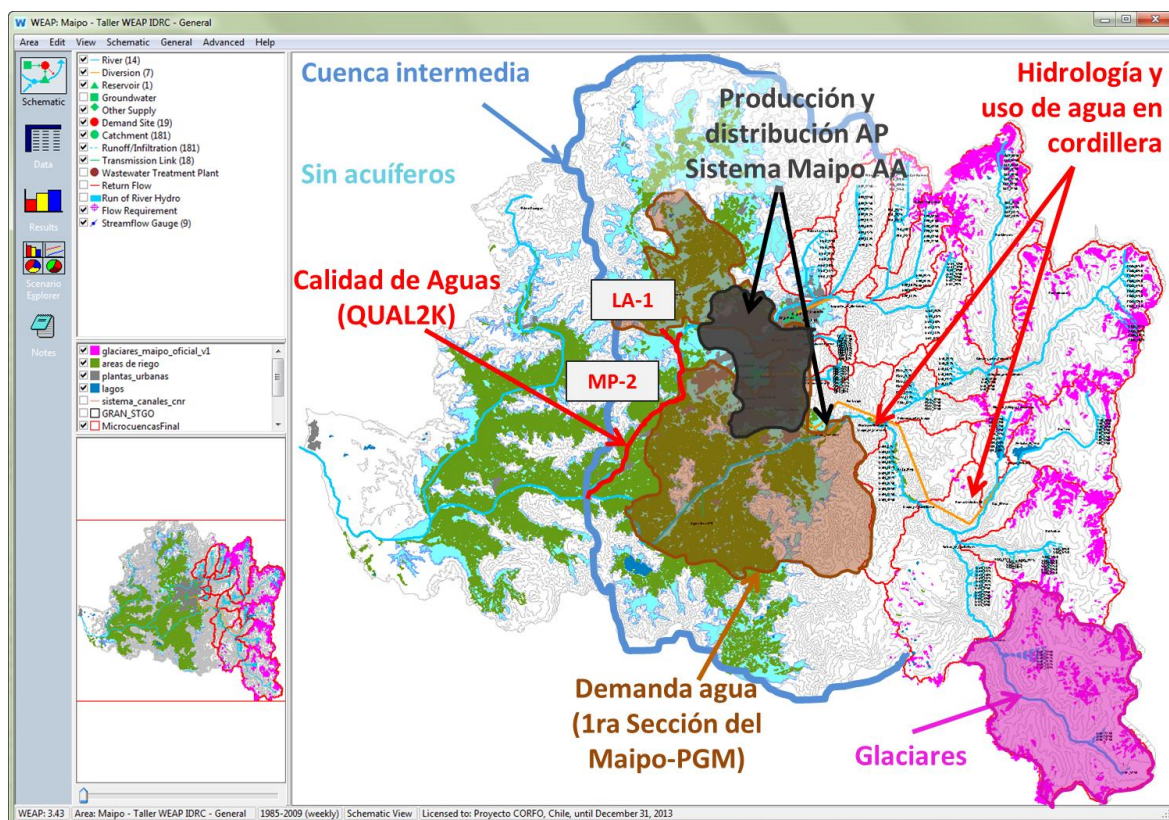


Figura 5.5. Esquema representativo de los modelos de simulación bajo plataforma WEAP desarrollados en el contexto del proyecto MAPA.

A continuación, se presenta la descripción de cada uno de los modelos desarrollados como parte de las actividades asociadas a este objetivo.

5.3.2 Modelo de simulación de balance de masa de glaciares

Uno de los aspectos más novedosos del trabajo de modelación de hidrología de sistemas montañosos desarrollado en el proyecto MAPA, fue el avance en la representación de la dinámica hidrológica de glaciares, mediante la generación de un modelo explícito de glaciares bajo la plataforma WEAP. Este modelo considera el balance de masa y energía de distintos cuerpos glaciares, tanto glaciares blancos como cubiertos, los cuales generan como resultado, el aporte glaciar en las cabeceras de las cuencas, así como la evolución del área glaciar, tal como se presenta en la Figura 5.6.

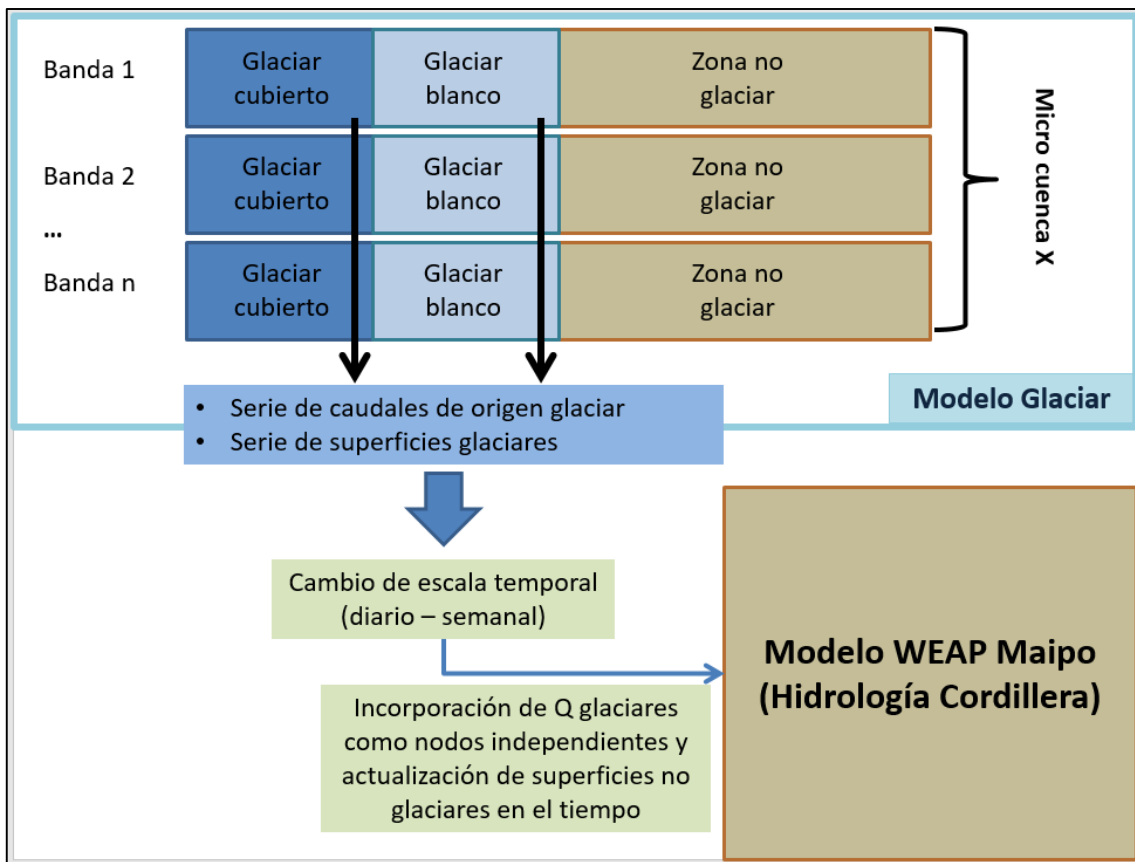


Figura 5.6. Esquema de integración de modelos WEAP glaciar y cordillera.

El desarrollo del modelo se basó en la calibración de parámetros de la dinámica glaciar mediante el uso de datos recolectados a partir de campañas de medición en dos glaciares de la cuenca del río Maipo: Glaciares La Pirámide y San Francisco (Figura 5.7). A partir de los parámetros obtenidos de estos modelos calibrados para estos glaciares específicos, se extrapolaron los parámetros hacia la cuenca piloto implementada en el modelo final de hidrología de cordillera (Maipo en Las Hualtatas).

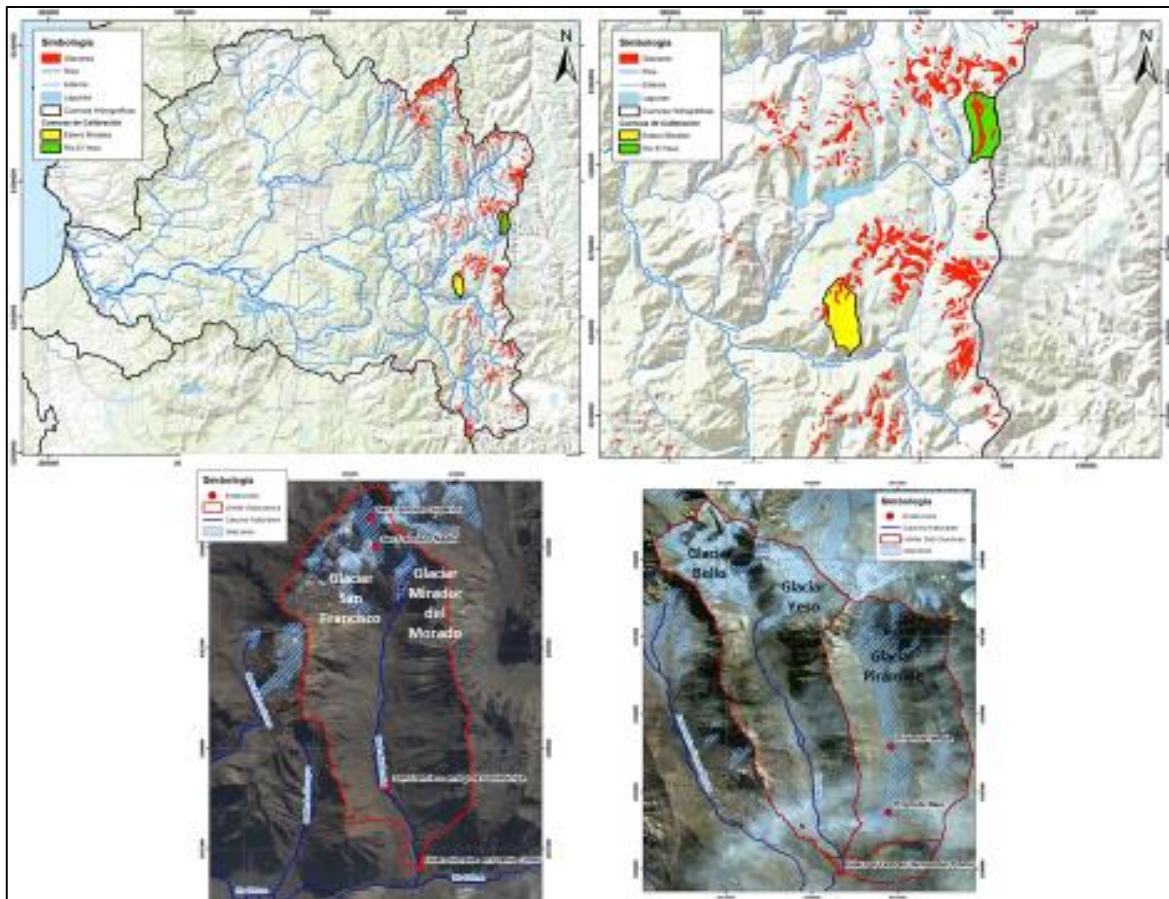


Figura 5.7. Glaciares monitorizados para la obtención de datos para el desarrollo del modelo glaciar.

Como resultado de esta modelación explícita de glaciares, fue posible identificar el aporte glaciar a la hidrología general de sistemas andinos, tanto en términos de volumen de caudal, así como su temporalidad, tal como se presenta en la Figura 5.8

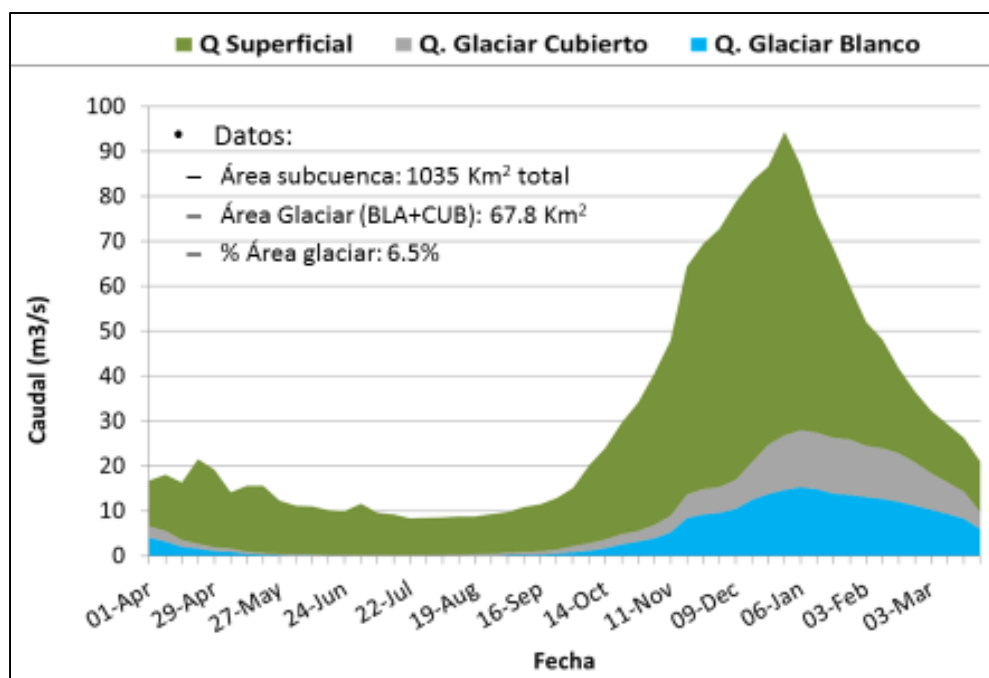


Figura 5.8. Hidrograma promedio (1985-2009) modelado de la microcuenca de Maipo en Las Hualtatas . Se indica el aporte glaciar según tipo de glaciar presente.

Con el modelo calibrado e incorporado en la hidrología de cordillera, es posible evaluar los efectos que posee el cambio climático en el sistema. En la Figura 5.9 se presentan los resultados para el mismo caso más arriba presentado, bajo un escenario severo de cambio climático.

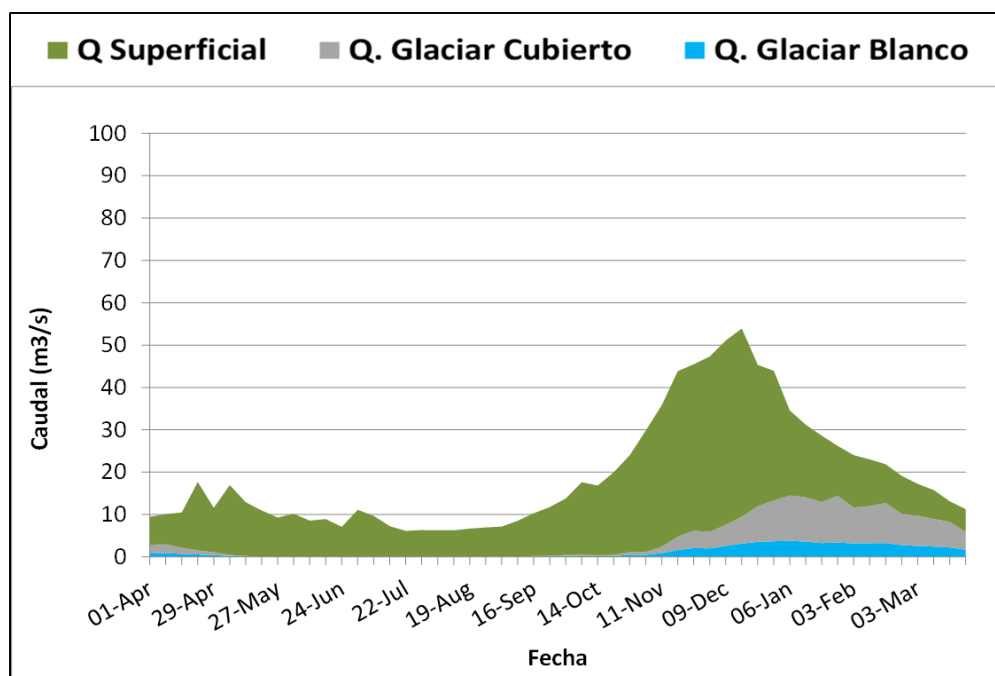


Figura 5.9. Hidrograma promedio bajo escenario de cambio climático adverso para el periodo 2020-2050 para la microcuenca de Maipo en Las Hualtatas.

A partir de estos resultados es posible avanzar en comprender mejor la dinámica y relevancia que poseen los glaciares en sistemas andinos, y su respuesta a las variaciones en los patrones de temperatura, así como su rol como proveedores de agua en condiciones de escasez, tan relevante en cuencas con una alta presión sobre los recursos hídricos.

Para mayor detalle del desarrollo de este modelo, favor revisar el [Anexo 6-6-4](#).

5.3.3 Modelo de simulación de hidrología y operación de infraestructura hidroeléctrica en cordillera

Se desarrolló un modelo de simulación que permite representar la hidrología superficial y la operación de infraestructura de generación hidroeléctrica para la zona de cordillera de la cuenca, la cual provee de agua a los principales usuarios de la cuenca aguas abajo (Figura 5.10).

Este modelo, de paso de tiempo semanal, consideró un periodo de modelación desde 1985 al año 2009, el cual considera además de la hidrología superficial de esta zona de la cuenca, el aporte glaciar para el caso de la cuenca piloto desarrollado en el sector de Maipo en Las Hualtatas. Se consideró la representación de una serie de microcuencas de interés de modelación, tales como puntos de control fluviométrico dependientes de la Dirección General de Aguas (DGA), puntos de captación de infraestructura de generación hidroeléctrica, así como otra infraestructura de interés (Figura 5.10).

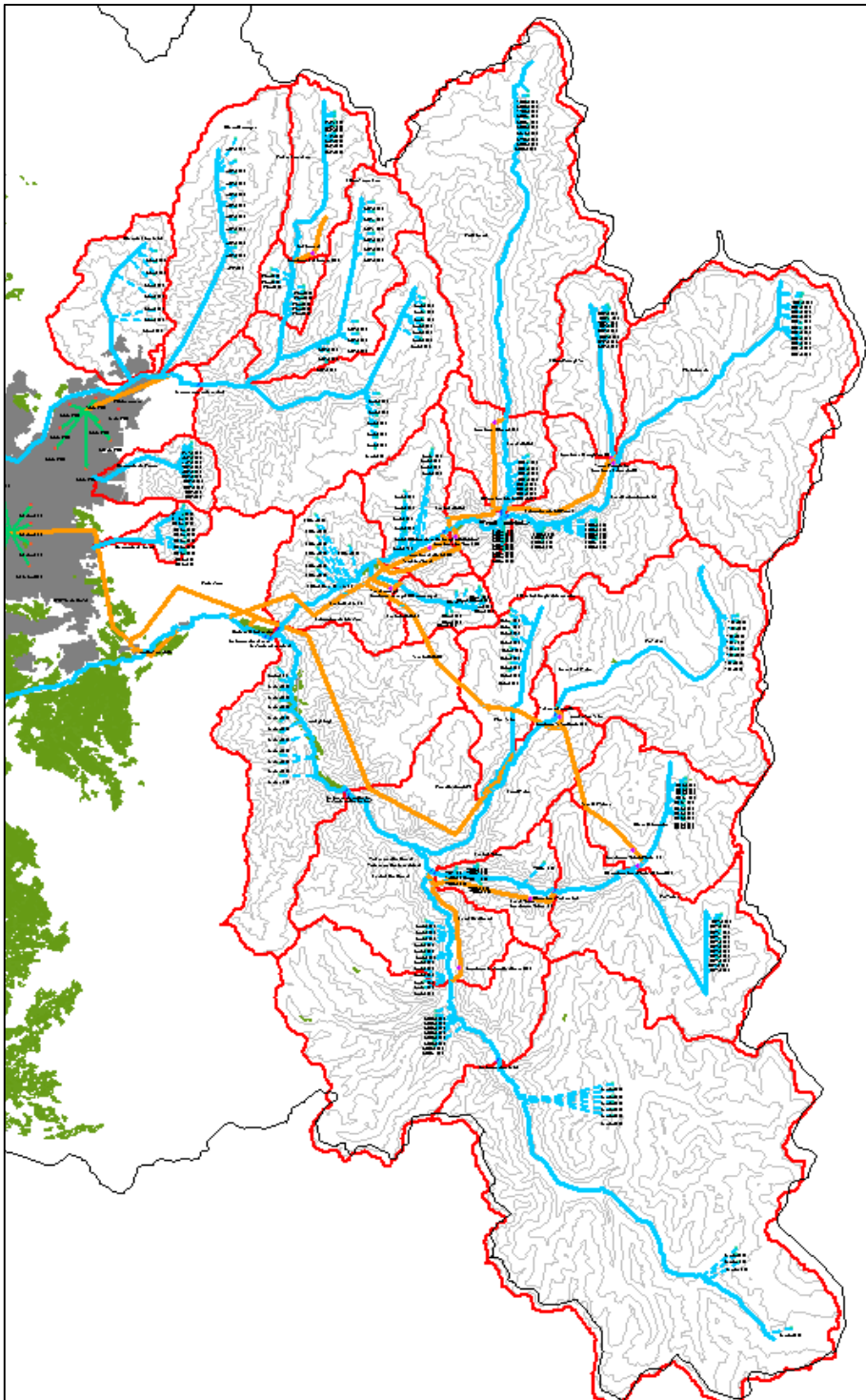


Figura 5.10. Microcuencas consideradas en la modelación de hidrología de cordillera.

A partir de esta representación, del área de montaña, fue posible estudiar el comportamiento hidrológico de la cuenca, así como el impacto de los distintos escenarios de cambio climático, pudiendo vincular los efectos en la hidrología con cambios en la disponibilidad y temporalidad de la oferta de agua para los distintos usuarios.

En las figuras siguientes (Figura 5.11 y Figura 5.12) se muestra el impacto en los caudales en el sector de Maipo en San Alfonso para distintos escenarios de cambio climático. Destaca la consistencia de la señal hacia una disminución de los caudales anuales y el adelantamiento en la ocurrencia de los caudales máximos bajo los distintos escenarios de cambio climático considerados.

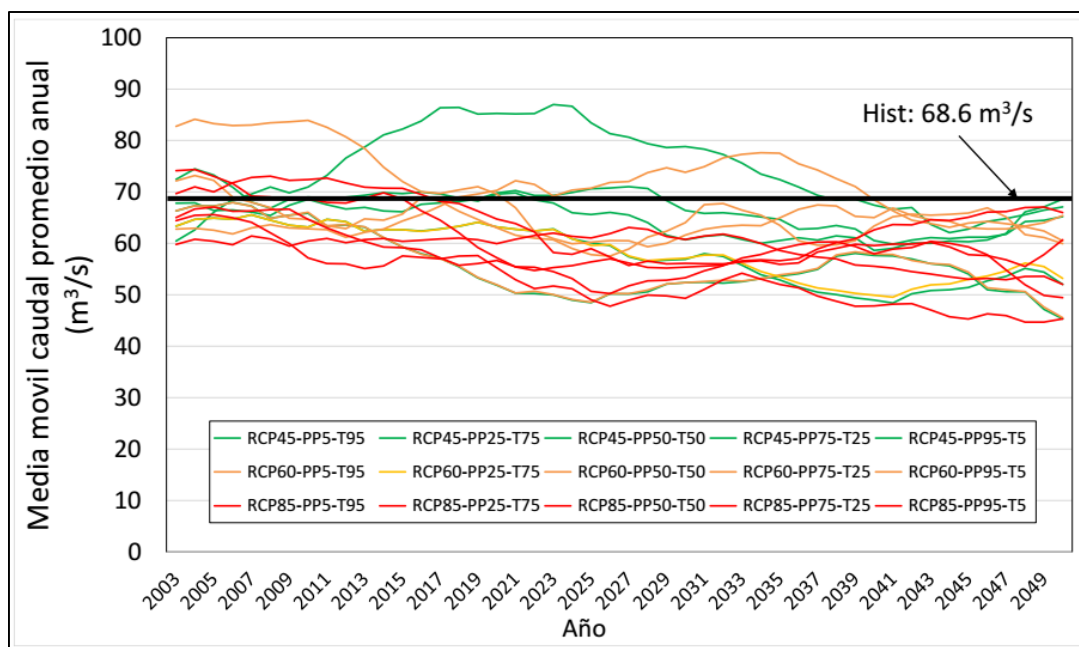


Figura 5.11. Serie de caudales anuales modelados en río Maipo en San Alfonso para distintos escenarios de cambio climático para el periodo 2003-2050. Se indica en la línea destacada el caudal anual promedio histórico para ese punto (1984-2009).

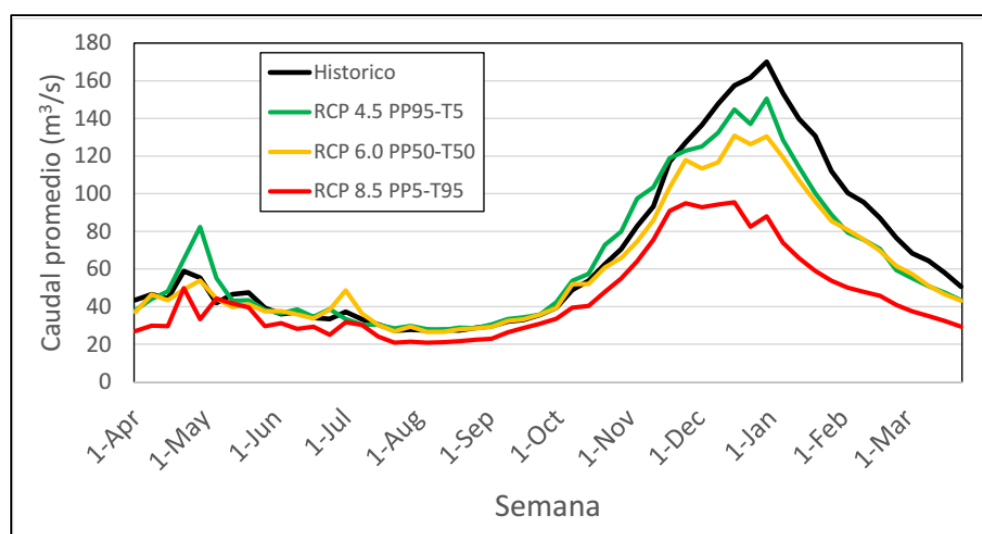


Figura 5.12. Hidrograma semanal para Maipo en San Alfonso. Se compara el promedio histórico con tres escenarios futuros para el periodo 2020-2050.

Asimismo, se consideró la modelación de la infraestructura de generación hidroeléctrica y la evaluación de una medida de adaptación que permita evaluar alternativas de gestión de la infraestructura de generación hidroeléctrica en favor de la mantención de caudales destinados a la actividad turística y de recreación en el área de San Alfonso.

Para mayor detalle respecto a este y otros elementos de la modelación hidrológica en el área de cordillera, favor revisar el [Anexo 5-3-1](#).

5.3.4 Modelo de producción y distribución de agua potable

Se desarrolló un modelo de simulación mediante la plataforma WEAP que permitiese caracterizar la producción y distribución de agua potable para la ciudad de Santiago de acuerdo a la información histórica de producción y consumo de ésta en la ciudad de Santiago para el periodo 2005-2009. Para realizar esto, se recopiló información de la operación del sistema junto con la serie de tiempo de producción de agua potable, volumen del embalse El Yeso, estadísticas de consumo de agua en los distintos sectores de Santiago, entre otros. El trabajo se centró en aquellos sectores abastecidos exclusivamente por las aguas del Río Maipo, cuya demanda corresponde a más del 90% del total producido (Figura 5.13).

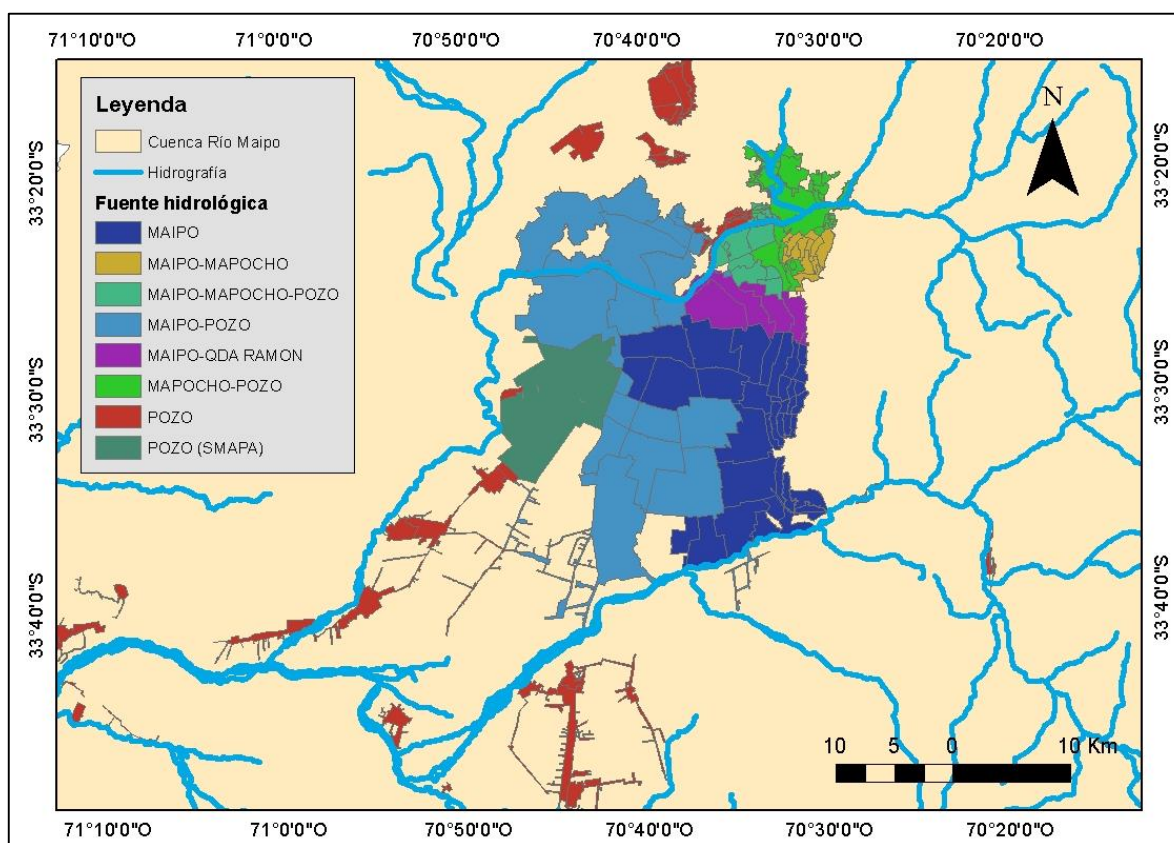


Figura 5.13. Sectores del Grupo Aguas agregados según fuente de abastecimiento.

Este trabajo fue realizado a través de una estrecha colaboración con Aguas Andinas S.A y el Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (SMAPA) de la comuna de Maipú, que durante el proceso proveyeron toda la información necesaria para la construcción del modelo de distribución (Figura

5.14). Asimismo, se incorporó información y comentarios desde mesas de trabajo temáticas, las cuales reunieron a todos los actores relacionados con el sector urbano, en donde se pudo profundizar en los distintos elementos de interés particular de este sector.

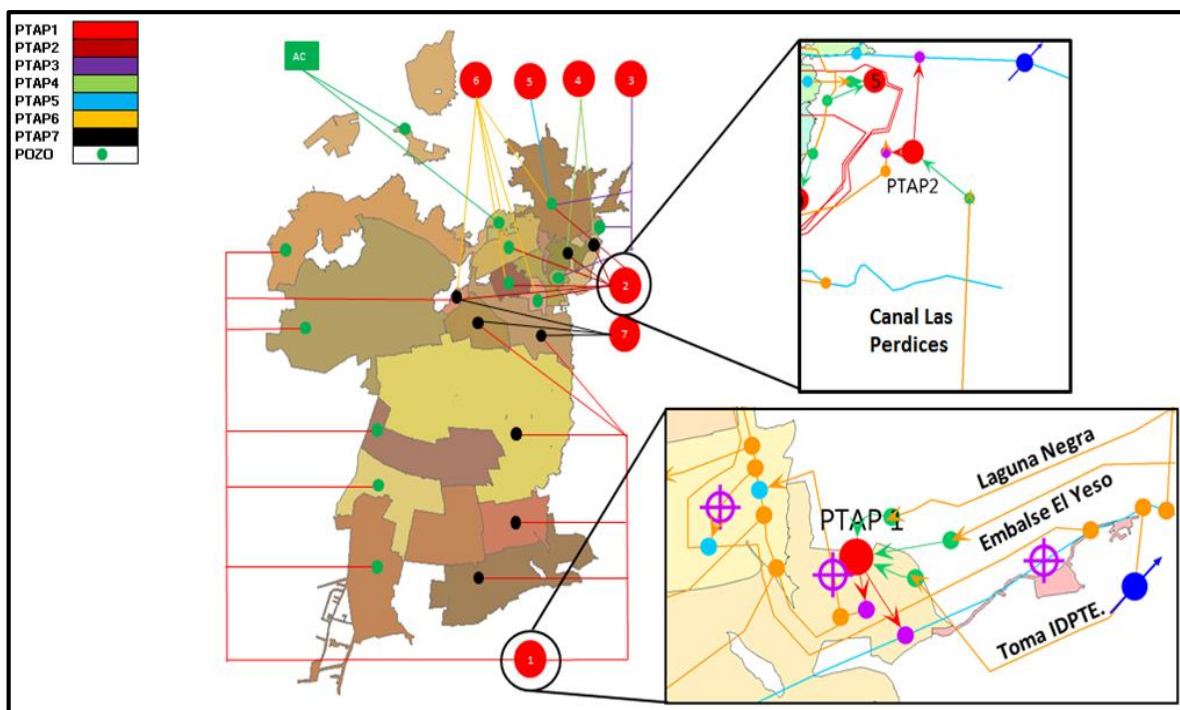


Figura 5.14. Esquema de distribución de agua a los macrosectores de consumo de la red de suministro de Aguas Andinas.

Respecto a los aprendizajes y evolución de este componente, es necesario mencionar que Inicialmente, el proyecto tenía como objetivo poder representar el funcionamiento del sistema de producción y abastecimiento de agua potable para toda la ciudad de Santiago a través del abastecimiento de agua cruda del Río Maipo y Río Mapocho, así como proveniente desde bombeos de agua subterránea. Por motivos de la complejidad de los sistemas y extensión en los plazos de desarrollo de las herramientas de modelación, en el proyecto se logró terminar la simulación de los sectores abastecidos por el Río Maipo solamente, dejando para etapas futuras la representación de los sistemas abastecidos por el río Mapocho y otras fuentes.

Una vez que el modelo fue terminado, se probó su comportamiento frente a diferentes escenarios de cambio climático futuros y así evaluar el posible comportamiento del sistema frente a cada uno de ellos en lo que respecta a la satisfacción de la demanda asociada a los derechos de aprovechamiento.

Para mayor detalle, favor revisar el [Anexo 5-3-2](#).

5.3.5 Modelo de producción y distribución de agua para riego agrícola

La reciente sequía que ha afectado a la zona central de Chile (2010-2015) junto con los escenarios del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y publicaciones de algunas instituciones expertas en cambio climático en Chile (Centro de Cambio Global UC y el Centro del Clima y la Resiliencia) ha gatillado en la población, las instituciones y el gobierno una creciente preocupación y necesidad de información respecto al futuro de la cuenca y en especial a los efectos que el cambio climático puede tener en la misma. Para evaluar dichos efectos es necesario la construcción y validación de modelos que simulen la distribución y consumo del agua en la cuenca del Río Maipo, para finalmente medir el impacto que los diversos escenarios futuros pueden tener sobre los diferentes usuarios del agua en la región.

La cuenca del Río Maipo cuenta con una superficie cultivada de 138.694 Ha (Censo Agropecuario, 2007) que poseen alrededor del 85% de los derechos consuntivos de aprovechamiento del recurso hídrico en dicha cuenca. Las principales extracciones de los ríos son administradas y distribuidas por las Asociaciones de Canalistas que, desde el punto de vista de la gestión del agua, son las encargadas aportar el agua necesaria para la agricultura en una determinada zona a través de su red de canales y por ello se han constituido en la unidad de análisis básica para el modelo rural. Por tanto, ha sido de suma importancia en el contexto del proyecto MAPA, conocer las extracciones que se hacen del río y los requerimientos que las diversas asociaciones tienen, con el fin de simular la gestión actual del agua y evaluar diferentes esquemas o alternativas de adaptación bajo escenarios futuros (objetivo 3 del proyecto MAPA).

Se ha accedido a diversas fuentes de información de instituciones como INE, ODEPA, DGA, GORE-RM, SAG y la Junta de vigilancia de la Primera Sección del Maipo. Especial énfasis se ha dado a la delimitación del área de influencia de cada asociación de canalistas como unidad de análisis y a la identificación de los principales cultivos en cada una de ellas para caracterizar el consumo en cada asociación (Figura 5.15). Se delimitaron 7 asociaciones de canalistas y simularon una matriz agrícola de 21 cultivos bajo 15 escenarios futuros de clima con varias opciones de adaptación.



Figura 5.15. Derecha: Delimitación de sub-cuencas y distritos censales en Asociación de Canalistas de Pirque; Izquierda: Revisión de límites con gerentes de Asociaciones de Canalistas (Huidobro y Buin).

La visión general del modelo conceptual agrícola parte por identificar la oferta y la demanda de agua que se tiene en el lugar de estudio (Cuenca del Río Maipo: Primera Sección del Maipo); además de los factores externos que condicionan a ambas. La oferta está caracterizada por la precipitación (pluvial o nival), el agua proveniente del deshielo y la infraestructura que se utiliza para llevarla a los diferentes predios; la demanda por su parte, está caracterizada por el tipo de cultivo, la superficie que ocupa y las condiciones atmosféricas y del suelo donde se encuentra. Como factores externos se pueden mencionar el mercado, el costo de la tierra, las políticas de subsidios y el desarrollo tecnológico tanto en la genética de los cultivos como en la eficiencia del riego.

La simulación de la distribución histórica del agua en la zona de la Primera Sección del Maipo ha sido estimada utilizando un modelo de gestión hídrica (WEAP). Especial interés se ha dado al uso de los derechos de aprovechamiento para verificar si se utiliza el agua de acuerdo a sus derechos todo el tiempo o existe variación en la aplicación de los mismos. Una serie de reuniones y entrevistas con los gerentes de las asociaciones de canalistas se realizaron con el fin de obtener y verificar datos durante todo el proceso.

El modelo desarrollado es de base física, de manera que la oferta y demanda han sido caracterizadas por factores que afectan directamente el clima y los cultivos; y los factores externos serán parte condicionantes que inducen a diferentes escenarios futuros de uso del suelo, que el Grupo de Construcción de Escenarios (GCE) del proyecto MAPA, compuesto por gestores y usuarios del agua en la región, ha evaluado y avalado.

Las unidades de análisis son todas las asociaciones de canalistas incluidas en la primera sección del río Maipo (Figura 5.16). Se ha optado por utilizar esta desagregación por ser la entidad que sustrae, distribuye y retorna agua al Río Maipo.

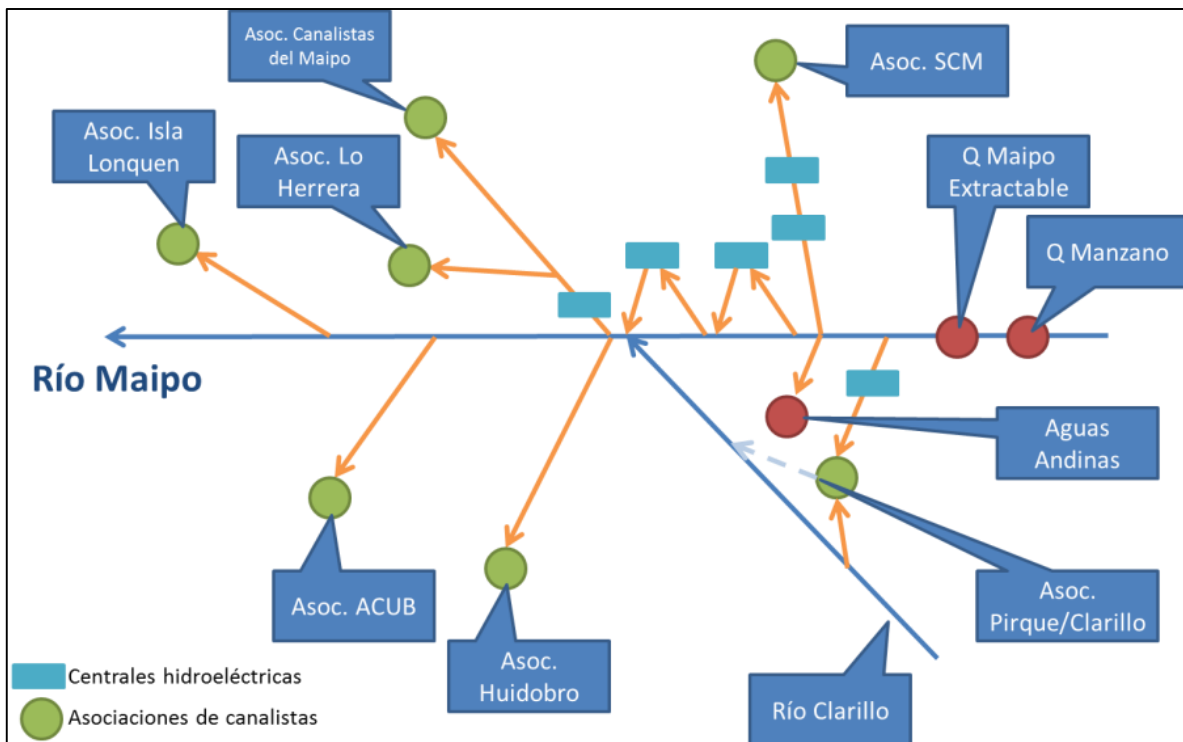


Figura 5.16. Esquema de modelación WEAP para sistema de distribución de agua para riego agrícola de la 1ra sección del Maipo.

Para poder representar efectivamente los elementos en la plataforma WEAP se ha necesitado desarrollar:

- La oferta hídrica proveniente de la alta montaña. El agua disponible es producto de otro modelo (de alta montaña) en el cual se simula el derretimiento de la nieve, el aporte de los glaciares y el aporte de las lluvias (pluvial y nival).
- La infraestructura que canaliza las aguas del río Maipo hacia las diferentes asociaciones de canalistas (canales matrices).
- La estructura de cultivos por asociación de canalistas. Esta estructura se deriva del estudio de los diferentes censos y catastros agropecuarios en la zona.
- La fenología de cada cultivo o familia de cultivos a considerar en el estudio.

El clima es un aspecto fundamental al momento de determinar la demanda de agua en los cultivos (riego). PGM requiere de series de datos diarios de precipitación, temperatura, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa. Las series diarias de todas estas variables climáticas se han obtenido de registros en las estaciones climatológicas. Finalmente, la plataforma WEAP hace una agregación a nivel semanal para contrastar la disponibilidad de agua con la demanda estimada por PGM.

El período de análisis se ha centrado en una primera fase en los últimos años de historia (1990-2014), en donde las condiciones socio-políticas se han mantenido estables en Chile. Dado el grado de intervención de la cuenca es necesario realizar un análisis histórico de la evolución de los cultivos y con ello calibrar el modelo agrícola. Este análisis histórico ha sido realizado apoyándose en censos

agropecuarios, catastros frutícolas y catastros vitivinícolas, e imágenes satelitales para determinar la evolución de los cultivos en cada asociación.

Finalmente, con el modelo calibrado para datos históricos se incorporaron en él los diferentes escenarios futuros, tanto de uso de suelo como climáticos, con el fin de evaluar la respuesta del sistema y así identificar vulnerabilidades y evaluar la efectividad de diferentes medidas de adaptación. Un ejemplo de este tipo de resultado se presenta en la Figura 5.17, en donde se observa el impacto de los escenarios de cambio climático futuro sobre la oferta y demanda de agua para la Asociación de Canalistas Unidos de Buin (ACUB) para el periodo 2020-2050, respecto al periodo histórico.

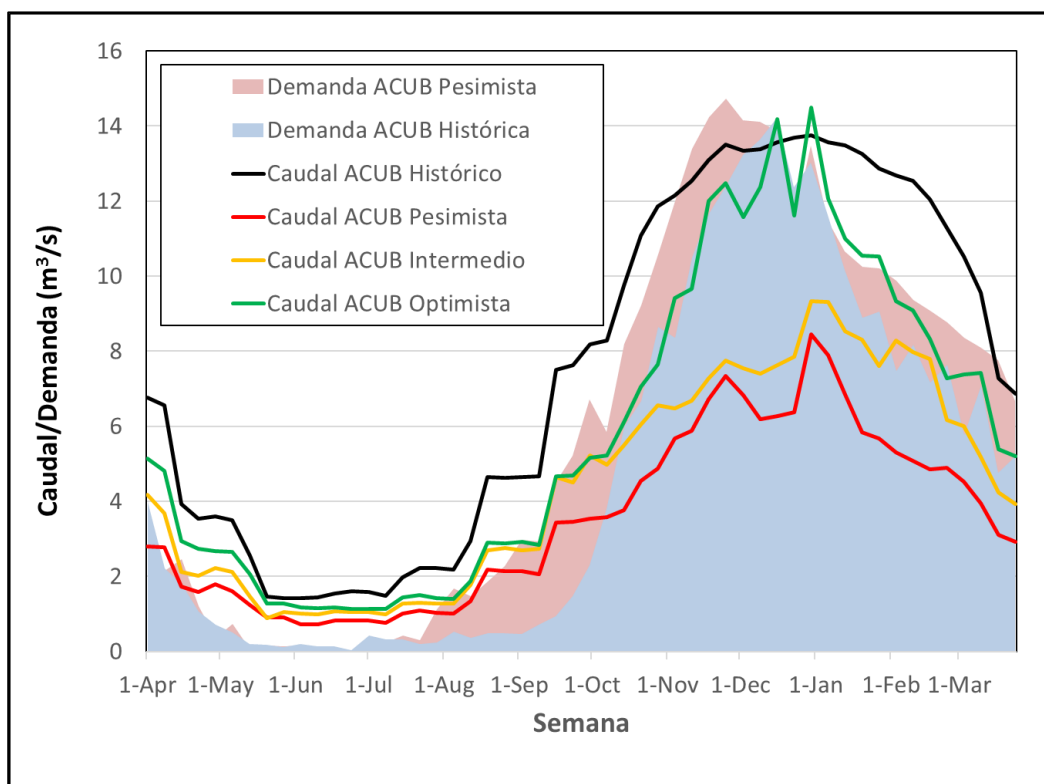


Figura 5.17. Demanda y oferta de agua para Asociación Canalistas de Buin periodo 2030-2050.

Para mayor detalle en la descripción de las actividades vinculadas y desarrollo del modelo agrícola, favor revisar el [Anexo 5-3-3](#).

5.3.6 Presentación avances otros Modelos

5.3.6.1 Calidad de Aguas

Este trabajo consistió en una modelación de la calidad del agua del río Mapocho frente a escenarios futuros, los cuales contemplan aumento poblacional e industrial y efectos del cambio climático.

Se realizó una caracterización de la zona de estudio. La superficie a modelar es el río Mapocho desde el Puente Pudahuel hasta la desembocadura con el río Maipo. Se recopiló información sobre las estaciones climatológicas, hidrométricas y de calidad del agua que se encuentran en este sector. Se caracterizan luego los diferentes usuarios (domésticos, agrícolas e industriales) a través de un análisis de las descargas de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), la extracción de caudal realizada por los canales y las descargas de residuos industriales líquidos. Se considera también los afloramientos de aguas subterráneas a lo largo del río.

Para la modelación se utiliza el software QUAL2K, el cual simula el comportamiento de 19 parámetros de calidad del agua. En este trabajo se analizan 4 de estos parámetros: Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5), Amonio (NH4) y Nitrato (NO3).

Se realizaron 2 campañas a terreno, con el fin de recaudar información para calibrar y validar el modelo y una tercera campaña para corroborar algunos datos. El modelo se calibró con datos obtenidos en la campaña a terreno realizada en abril del año 2014 y se valida con datos obtenidos en la campaña de diciembre del año 2013.

El año base de la simulación es el año 2012. Se consideran cuatro escenarios futuros diferentes, todos con horizonte de tiempo año 2030, evaluado en dos periodos: noviembre a enero y febrero a abril, correspondientes a máximos y mínimos caudales, respectivamente. Para la construcción de escenarios futuros se realizan proyecciones de las descargas de las PTAS (según el porcentaje de saneamiento de la población y el consumo de agua por persona), se proyectan descargas industriales y se consideran 2 tipos de Escenarios de Cambio Climático, uno probable y otro negativo. - Escenario 1: Considera aumento poblacional, en ausencia de Cambio Climático.- Escenario 2: Considera aumento poblacional e industrial, en ausencia de Cambio Climático.- Escenario 3: Considera aumento poblacional e industrial en escenario probable de Cambio Climático.- Escenario 4: Considera aumento poblacional e industrial en escenario negativo de Cambio Climático.

En todos los escenarios futuros la concentración de OD disminuye con respecto al escenario base y las concentraciones de los demás parámetros simulados aumentan (DBO5, NH4 y NO3). Se concluye que la calidad del agua del río Mapocho en el futuro cercano será peor que la calidad actual, en caso que no se tomen medidas concretas que mitiguen o anulen el efecto causado por el aumento poblacional, industrial y el Cambio Climático.

Para mayor detalle Ver [Anexo 6-6-5](#).

5.3.6.2 Hidrología peri-urbana

La línea de trabajo de hidrología de zonas periurbanas busca abordar dos interrogantes principales:

¿Cuál es el impacto del desarrollo urbano sobre el régimen hidrológico en cuencas periurbanas? Esta interrogante no se centra sólo en el efecto sobre los caudales de crecidas, sino también en términos de disponibilidad de agua subterránea, efecto sobre flujos bajos y la dinámica hidrológica entre ellos.

¿Hasta dónde y cómo se puede urbanizar sin alterar significativamente los regímenes naturales?
¿Existen límites o una distribución espacial de impermeabilidad que permita estimar umbrales sustentables de urbanización?

Para ello se ha planteado aplicar modelos hidrológicos superficiales y subterráneos que permitirán cuantificar el efecto del cambio del uso de suelo en cuencas periurbanas ubicadas en el sector del piedemonte andino de la ciudad de Santiago, que forma parte de la Cuenca del Maipo (Chile). El principal objetivo de esta línea de investigación es caracterizar y modelar los procesos hidrológicos considerando en detalle la variabilidad espacial de parámetros naturales (i.e. topografía, pendientes, tipos de suelo) y presencia de elementos artificiales (loteos, calles, canales u otras obras de arte).

Para poder soslayar la falta de información de registros de caudales en zonas periurbanas de la zona del Maipo se escogió la zona del Estero El Guindo, en la Comuna de Lo Barenegha, como cuenca piloto en la que se implementaron sensores de caudal y se llevaron a cabo campañas de medición durante el periodo de invierno del 2015. Esta información permite preparar la información base para la modelación hidrológica. La modelación de escurrimientos superficiales y sub-superficiales se considera la aplicación del modelo PUMMA (Peri-Urban Model Management) desarrollado por el centro de investigación IRSTEA-Lyon.

Por otro lado para abordar la modelación de escurrimientos subterráneos y la interacción con el uso de suelo superficial, se aplicará el modelo WEAP mediante un enfoque simplificado de la interacción entre los sectores acuíferos y mediante un enfoque explícito de acoplamiento de modelo superficial-subterráneo WEAP-MODFLOW.

Para mayor detalle de los avances en modelación de aguas subterráneas, Ver [Anexo 5-3-4](#)

5.4 Actividades Objetivo 4

5.4.1 Generación de escenarios climáticos futuros

La necesidad de proyectar las condiciones futuras de la cuenca del Río Maipo, en lo que respecta a su hidrología, comportamiento de la demanda de agua y otros indicadores que ayuden a evaluar la vulnerabilidad futura hacen necesario contar con información climática que incorpore tanto elementos de variabilidad como de cambio climático (ver distinciones en Newsletter N°1). En este sentido es necesario implementar una metodología que sea capaz de representar de manera realista, la variabilidad histórica presente, muy relevante en escenarios de mediano plazo y que además sea capaz de incorporar la señal de cambio climático de largo plazo. Para esto el proyecto MAPA contó con el apoyo del International Research Institute for Climate and Society (IRI) de la Universidad de Columbia, EE.UU., quienes han desarrollado una metodología de generación información climática futura (Greene, et. al., 20121) la cual fue presentada en el “Taller de Generación de Escenarios Climáticos” a los investigadores del proyecto, realizado en el mes de Julio de 2013.

En lo que respecta a las proyecciones de señal de cambio climático de largo plazo, éstas se obtienen desde los Modelos de Clima Global (GCM's, ver Glosario) los cuales utilizan para realizar estas proyecciones distintos escenarios de emisión de Gases de Efecto Invernadero. Los resultados de los

GCMs entregan la magnitud, temporalidad y dirección del cambio del clima futuro en el área de estudio. Para el caso de la cuenca del río Maipo, se obtuvieron las proyecciones de cambio de la precipitación y temperatura para los grupos de escenarios CMIP3 (IPCC, 2007) y CMIP5 (IPCC, 2013) que a su vez consideran los escenarios de emisión SRES (B1, A1B y A2) y RCP (2.8, 4.5, 6.0 y 8.5) respectivamente. La información proveniente de los GCMs se escala para representar la condición correspondiente a la estación meteorológica Quinta Normal.

En las Figura 5.18 y Figura 5.19 se presentan los resultados obtenidos como parte de un primer análisis de proyecciones de cambio climático. Se puede apreciar primero en la Figura 5.18 que las proyecciones muestran para ambos grupos de escenarios, una tendencia de reducción en las precipitaciones (promedio de treinta años respecto al periodo base) para la mayor parte de los GCMs considerados. Esta señal es más intensa hacia periodos más tardíos y al considerar escenarios más severos de emisiones, con disminuciones que van desde aproximadamente un 10% en un periodo temprano (2010-2040), hasta un 30% para escenarios severos hacia fines de siglo. Para el caso de las temperaturas medias (promedio de treinta años), se observa un calentamiento progresivo, desde 1°C por sobre la temperatura media histórica para el periodo 2010-2040, y aumentando hacia promedios de 2.5°C y 3.5°C para los escenarios de emisiones más severos para el periodo tardío (2070-2100).

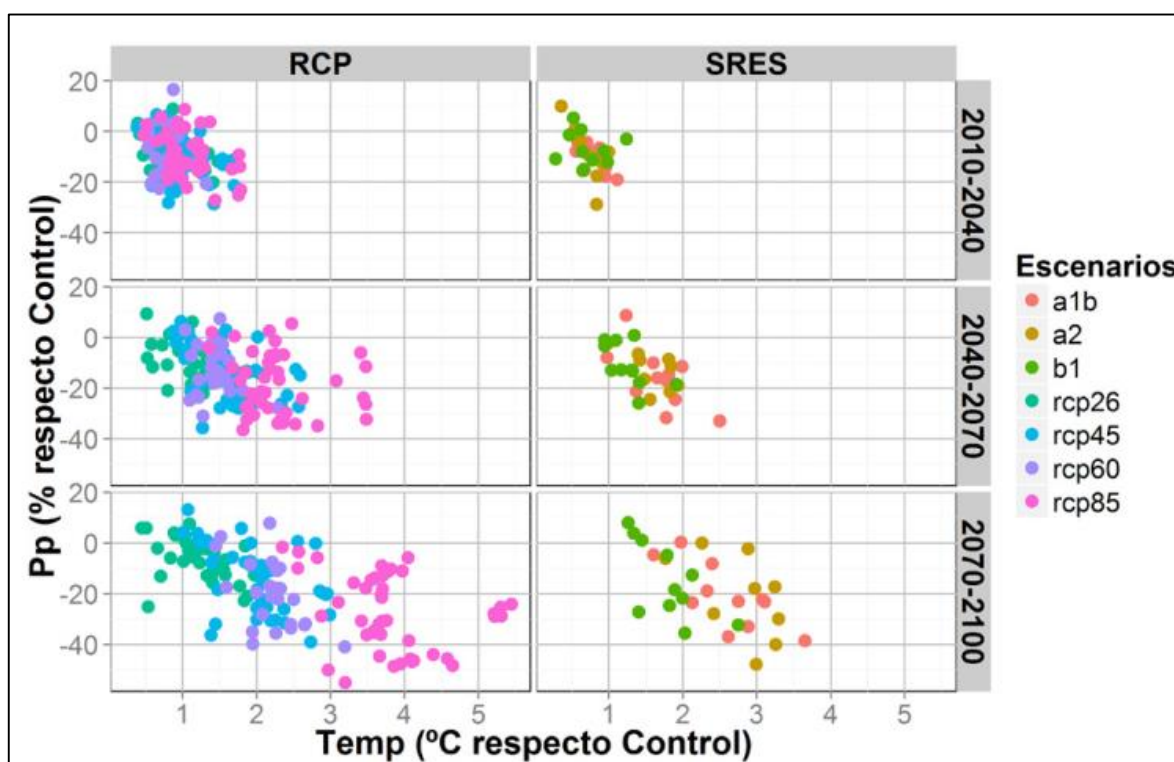


Figura 5.18. Proyecciones de cambio futuro respecto al periodo control para temperatura y precipitaciones en la estación Quinta Normal, para el promedio de tres periodos futuros y dos grupos de escenarios (SRES y RCP).

Dada la alta variabilidad climatológica existente en esta cuenca, es necesario extender el análisis para no sólo incluir las condiciones promedio a nivel climatológico (promedio de 30 años) sino que también estudiar, la variabilidad interanual.

La Figura 5.19 muestra este efecto según los resultados del grupo de escenarios RCP (CMIP5, IPCC 2013). A diferencia de la figura anterior, cada punto en esta figura presenta la proyección para un año en particular, respecto al promedio del periodo base de cada modelo. Vemos en este caso que la variabilidad en las condiciones de precipitación se mantiene en los escenarios futuros, pero cambia de manera clara la media. En el caso de la temperatura vemos en cambio que hay variaciones en la media y un aumento progresivo en la variabilidad. Esto último se puede deber a los distintos grados de sensibilidad de los modelos GCM considerados y también al efecto que tienen los escenarios de emisión. El efecto de estos cambios es notorio y vemos que ya a mitad de siglo es muy poco probable tener un año con temperaturas inferiores al máximo histórico.

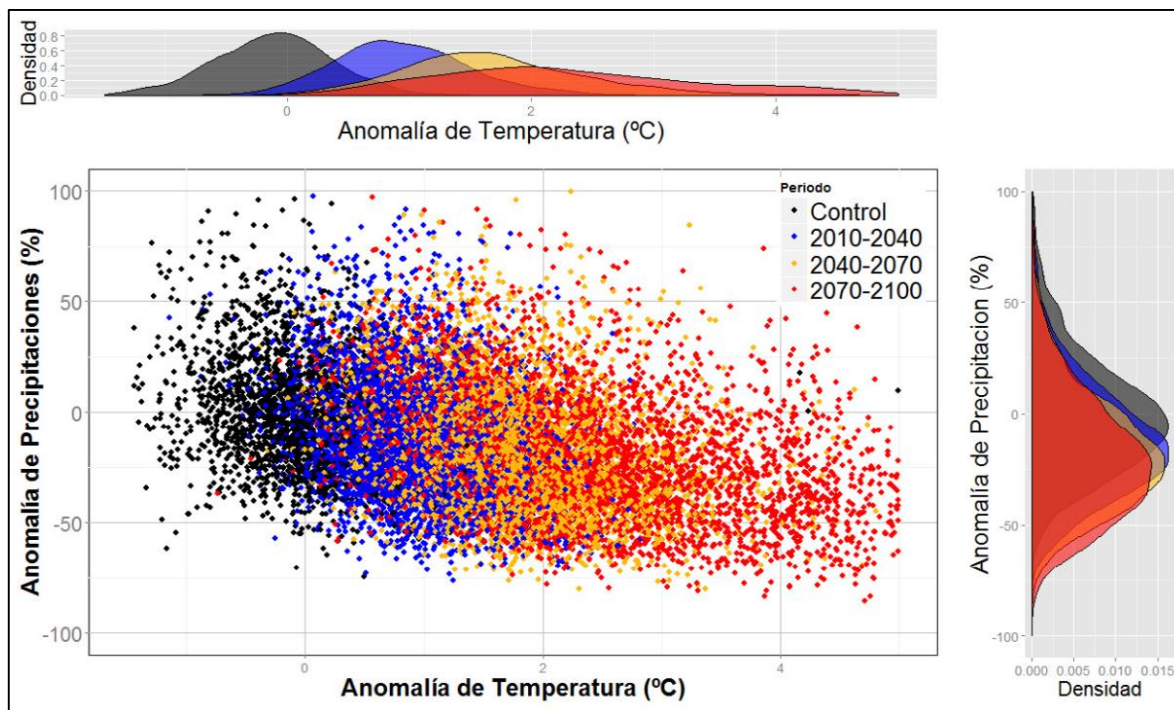


Figura 5.19. Distribución de las anomalías a nivel anual de temperaturas y precipitaciones proyectadas para todos los modelos del grupo de escenarios RCP, según periodo futuro.

A partir de este primer análisis el desarrollo de escenarios de cambio climático para el proyecto se centró en la desagregación o downscaling para escalar los resultados de los GCM a escalas espaciotemporales más finas, de manera de replicar de buena manera la climatología local y la obtención de series de temperatura y precipitaciones a escala local, dada la alta variabilidad e importancia de los patrones locales en el área de estudio. Se desarrolló un método de downscaling, del tipo generador de clima, el cual es capaz de generar datos de precipitaciones y temperaturas a escala temporal diaria, semanal o mensual los cuales son consistentes con la estadística de la climatología local de un lugar. Además, el generador de clima sirve como un proceso de downscaling para los modelos de GCM, ya que es capaz de incorporar sus tendencias de largo plazo (Figura 5.20).

En síntesis, se generó una herramienta capaz de extraer la información necesaria de los GCM para luego generar clima que sea coherente con la climatología local de una cuenca en particular. Como

resultado se obtienen series de precipitación y temperatura que pueden ser posteriormente utilizadas en un modelo hidrológico.

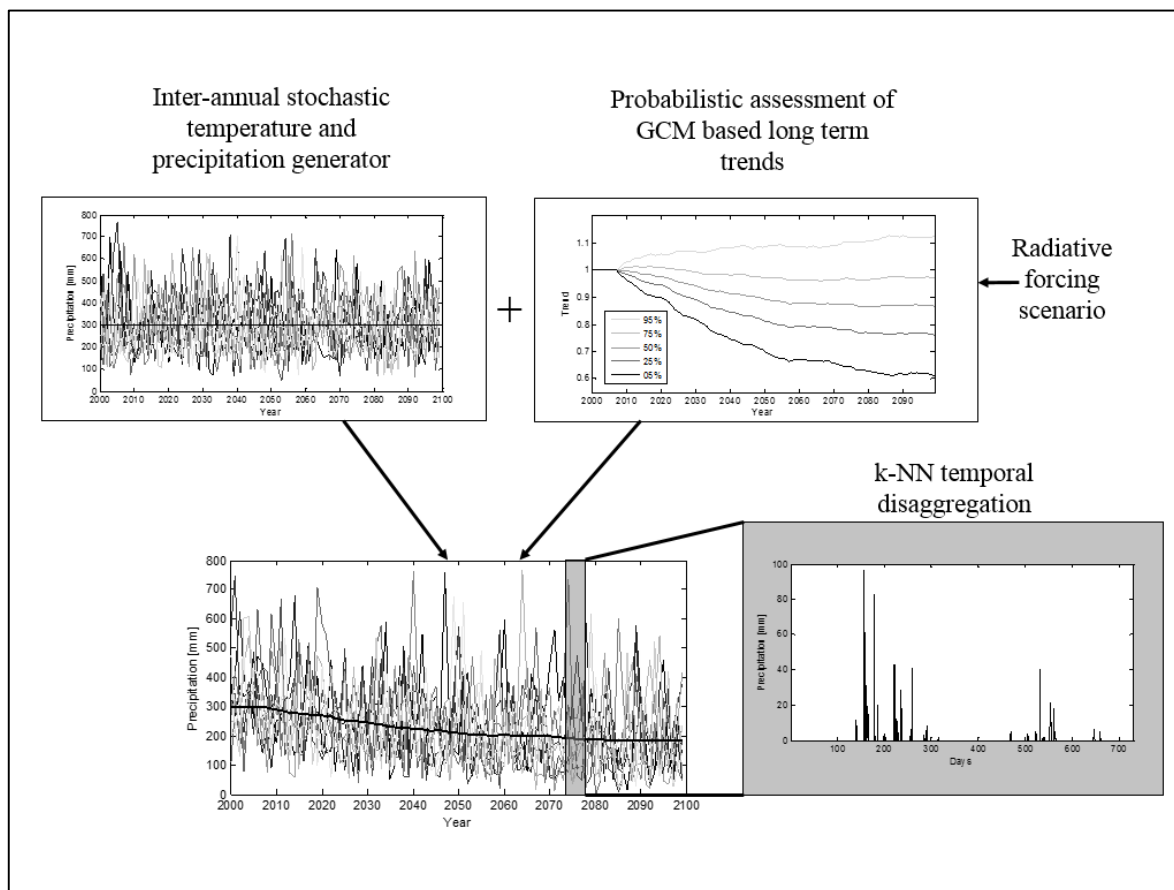


Figura 5.20. Representación esquemática del método de downscaling desarrollado en el proyecto.

Para mayor detalle en la descripción del proceso desarrollado, favor revisar el [Anexo 6-4-3](#).

5.4.2 Generación escenarios de cambio de uso de suelo

En el caso de la construcción de escenarios de uso de suelo o de desarrollo siguiendo la lógica de propuesta por el RDM, para el proyecto MAPA se realizó bajo la aproximación *actor-based*, vale decir, centrada en la co-producción de conocimiento mediante un trabajo en conjunto con actores locales y regionales expertos – participantes del GCE. En el caso específico de la construcción de escenarios de uso y cobertura de suelo (UCS) el proyecto se apoyó también en el uso del modelo *Conversion of Land Use Modelling and its Effects* (CLUE-s) como base, el cual permite generar una retroalimentación entre el conocimiento y percepción de los actores, y los desarrollos plausibles de los diferentes usos de suelo de la cuenca del Maipo.

Bajo este marco se realizaron en una primera fase una instancia de discusión y participación con los actores miembros del GCE, a partir de las cuales se pudo recopilar sus opiniones e información clave que puedan aportar. Dentro de esta fase, el taller para la construcción de escenarios futuros desarrollado en Lampa en el marco de la Segunda Reunión del GCE, realizada en Septiembre del

2013, se presentó como una instancia sumamente relevante para la identificación de factores agrícolas, urbanos y de ecosistemas naturales ([Anexo 5-4-1](#)). En segundo lugar, dicha información se complementa con el uso del modelo CLUE-s, lo cual permite analizar cuáles son los posibles escenarios que surgen a partir de la percepción e información entregada por los actores claves, los cuales a su vez son corroborados y validados por los mismos actores. Finalmente, dicha información se incorpora dentro del modelo WEAP antes señalado, a modo de poder vincular los resultados del trabajo iterativo entre los miembros del GCE y el modelo CLUE-s, y el resto de los modelos desarrollados para los otros objetivos del proyecto MAPA. Es, en definitiva, un proceso iterativo de trabajo que permite combinar, de manera efectiva, las capacidades de simulación de programas computacionales con la experiencia y conocimiento de actores de la cuenca del Maipo (ver proceso en Figura 5.21). Mayores detalles se pueden encontrar en [Anexo 5-4-2](#).

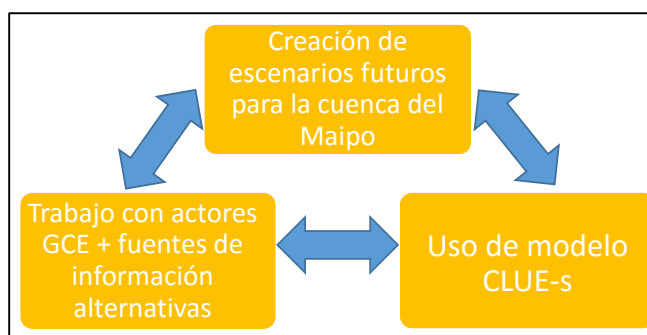


Figura 5.21. Resumen de la iteración entre etapas para la creación de escenarios de uso de suelo.

5.4.3 Análisis medidas de adaptación

El análisis de las medidas de adaptación fue una actividad iniciada en la 4a reunión del GCE en San José y fue complementada a partir de ese momento por la serie de reuniones sectoriales que se llevaron a cabo y las siguientes reuniones del GCE. Los avances durante este proceso fueron de dos índoles. Por una parte, estuvo el diseño conceptual que indicaba la manera en que debían tratarse las medidas de adaptación y por otra parte se avanzaba en paralelo generando el listado de posibles medidas a considerar en el plan y los análisis específicos que podían hacerse con ellas.

Respecto de lo segundo, el proceso para generar el listado de las medidas de adaptación partió en una primera instancia incluyendo aquellas medidas que habían sido ya consideradas en planes de adaptación ya desarrollados (por ejemplo, el caso del Plan de Adaptación del Sector Silvoagropecuario o el Plan de Adaptación para la Región Metropolitana que se desprende del proyecto CAS. En paralelo distintos grupos de investigadores del proyecto fueron proponiendo medidas de adaptación que fueron también complementadas por los miembros del GCE en las distintas instancias de discusión. Posteriormente en la medida que el marco conceptual se iba definiendo el listado de medidas se iba justificando y ordenando en cuanto a sus objetivos. Finalmente, para cada medida que se pudo conseguir la información mínima se fueron armando fichas específicas para ordenar la información de una manera más sintética.

Con respecto al marco conceptual para realizar el análisis de las medidas el proyecto fue navegando por distintas instancias. El punto de partida fue el marco de trabajo IDAM que permitió definir la justificación de una medida de adaptación. Es decir, permitió responder la primera pregunta básica “¿es necesaria la adaptación?”. Para obtener una respuesta más concreta a esta pregunta requirió del apoyo del marco de trabajo para la definición de indicadores de desempeño. Esto debido a que las fallas en estos indicadores justifican la adaptación.

De manera interesante y como un subproducto adicional el desarrollo de este marco conceptual permitió a la vez identificar no solo la necesidad, sino que el mecanismo mediante el cual se podía implementar la medida de adaptación para lograr un resultado deseado. El marco conceptual de indicadores destaca conexiones existentes entre distintos niveles de indicadores por ejemplo desde el caudal que pasa por un río, hasta el cultivo que permite una actividad rentable a un agricultor pasando por el sistema de extracción de agua del río y el sistema de riego en el predio. La Figura 5.22 muestra justamente este ejemplo indicando donde es posible concebir el desarrollo de medidas de adaptación.

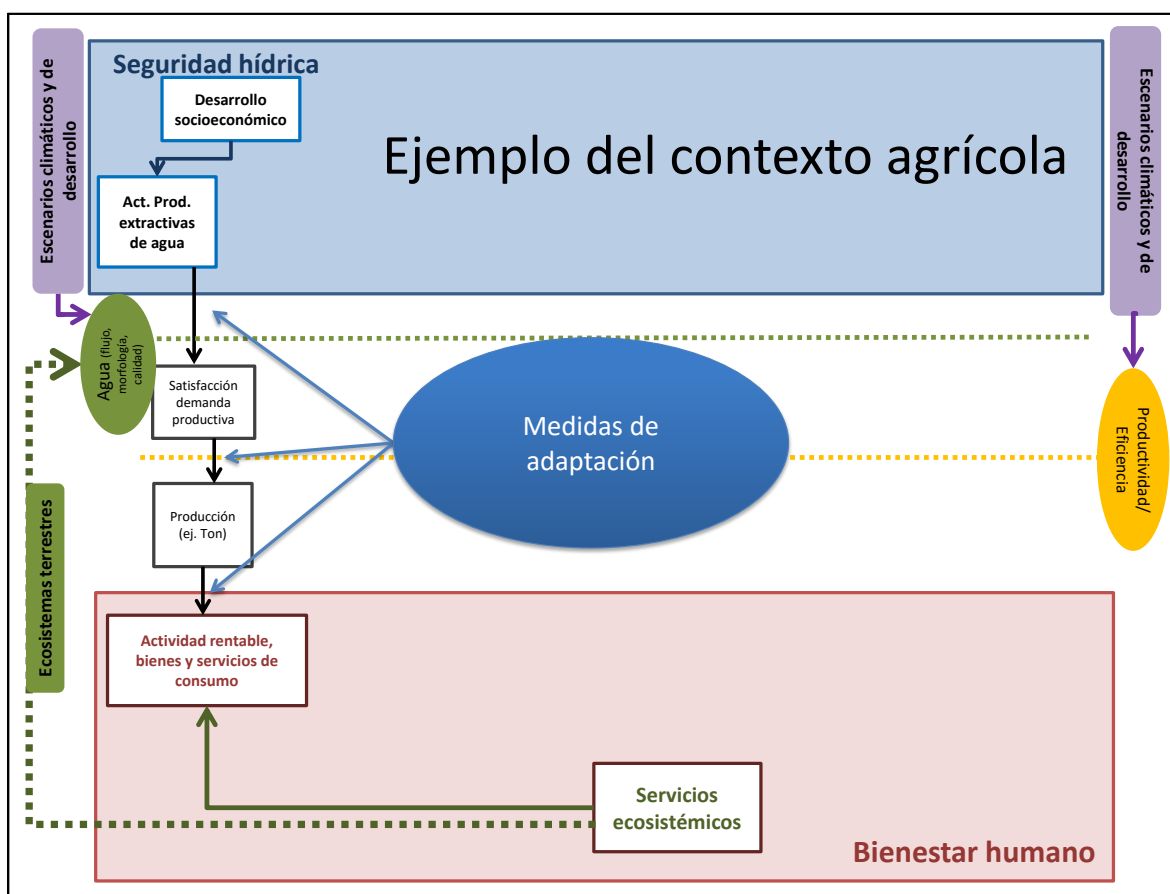


Figura 5.22. Incorporación de medidas de adaptación relacionadas con agricultura en marco conceptual de indicadores de desempeño (D).

Utilizando este marco se pueden reconocer de esta manera cuatro tipo de medidas de adaptación que quedan mejor graficadas en la Figura 5.23: las medidas tipo A actúan mediante la mejora o conservación de los servicios ecosistémicos asociados a la provisión y regulación de flujos de aguas

superficiales y subterráneas (ej. protección de erosión de laderas, protección de glaciares, recarga de acuíferos); las medidas tipo B consideran algún tipo de regulación o control de estos flujos una vez disponibles (ej. embalses, transferencia de derechos, obras de contención de inundaciones; las medidas tipo C ayudan a generar un producto deseado o evitar uno indeseado dado el contexto físico en el que deben operar (ej. eficiencia en riego, planificación urbana, reducción de carga de contaminantes); y finalmente las medidas tipo C son medidas que afectan directamente el nivel de bienestar humano (ej. seguro agrícola, relocalización de especies).

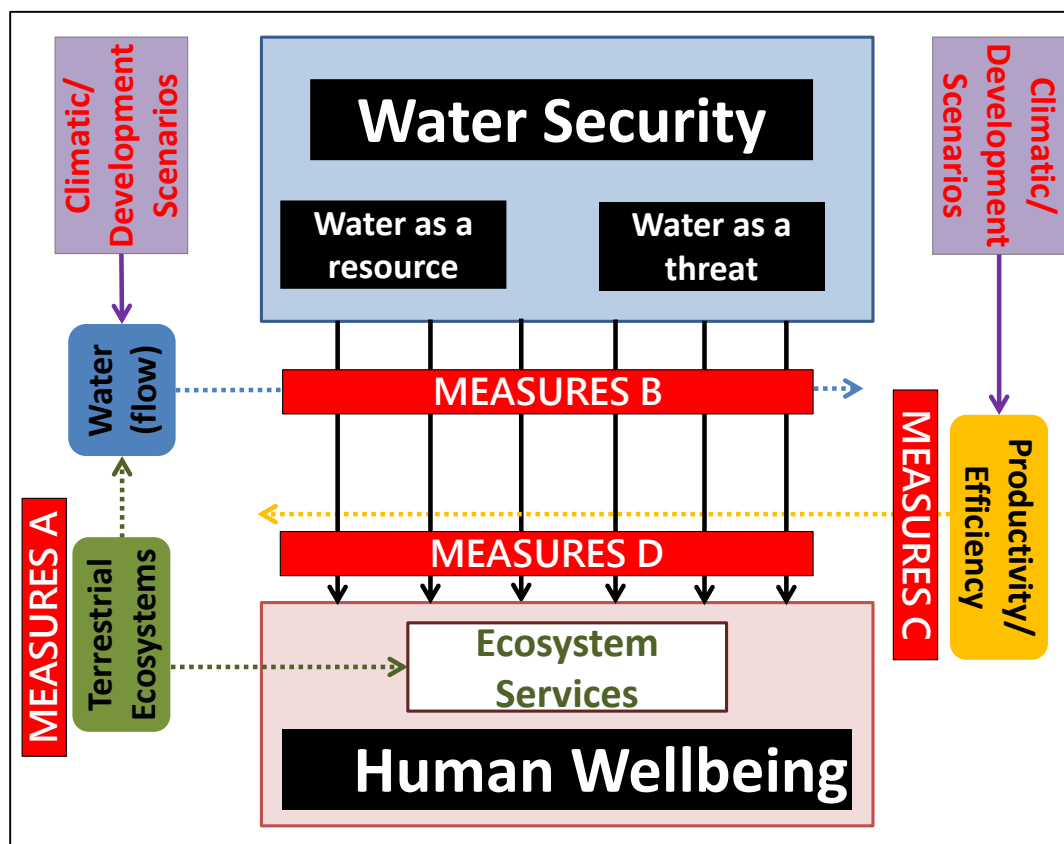


Figura 5.23. Clasificación de medidas de adaptación y su relación con seguridad hídrica, servicios ecosistémicos y bienestar humano.

El desarrollo de este marco conceptual ayudó a justificar y ordenar cada una de las medidas de adaptación propuestas. De esta manera fue posible clasificar un listado de 46 medidas de adaptación ordenadas y agregadas en función del sector en el que son relevantes (urbano, agrícola, ecosistema/cordillera) y la manera en que se conectan con los distintos indicadores de desempeño (ver 5-4-3). Un conjunto de estas medidas fueron analizadas cuantitativamente en el marco del proyecto tal como se aprecia en la siguiente figura.

Opciones de medidas de adaptación	
Medidas Tipo A: Medidas relacionadas con servicios ecosistémicos de regulación y provisión de agua • Introducción de cultivos nativos • Inversión en terrazas • Protección de glaciares y de taludes • Fondos de agua	Medidas Tipo B: Medidas relacionadas con regulación y distribución de agua desde cauces naturales/ acuíferos • Captación de agua de lluvia • Recarga acuíferos • Cambios en infraestructura de almacenamiento (físicos y operación) • Infraestructura de protección • Mejoras en sistemas de captación y conducción • Transferencia, venta, arrenda de derechos
Medidas Tipo C: Medidas relacionadas eficiencia/eficacia/productividad dado contexto físico • Nuevas variedades de cultivo y mejoras en prácticas de riego • Plataformas de alerta temprana y planificación territorial en base a escenarios • Nuevas áreas de conservación • Mejoras en pérdidas de distribución • Reducción en consumo residencial, parques, industrial • Reutilización aguas grises/tratadas • Mejoras en tratamiento y reducción de contaminación	Medidas Tipo D: Medidas relacionadas con beneficio (bienestar humano) final • Seguro agrícola • Áreas recreacionales (sin vegetación) • Traslado de especies * Analizadas en proyecto MAPA

Figura 5.24. Listado de medidas de adaptación consideradas en proyecto MAPA destacándose aquellas medidas analizadas cuantitativamente.

Una vez que el marco conceptual permite justificar y definir el campo de acción de una medida de adaptación surge la última gran dificultad. La mera justificación de una medida de adaptación en cuanto a su racionalidad no justifica su implementación. Para proponer la implementación se debe poder demostrar que al implementar una medida de adaptación debe existir un beneficio que supere los costos (incluidos los de transacción) de implementación. Este beneficio puede ser un beneficio privado o social dependiendo de quien se haga la pregunta. La primera aproximación a este problema trato de emular un simple ejercicio de análisis costo beneficio, pero tomando en cuenta un escenario futuro. El ejercicio consiste de esta manera en evaluar los impactos en una situación sin adaptación, evaluar los impactos con adaptación y evaluar los costos económicos de implementar la adaptación. Si la diferencia entre los dos primeros superaba el último todo traído a valor presente la medida de adaptación se justifica. Sin perjuicio de lo correcto del argumento varios elementos hacen inaplicable esta aproximación. Por una parte, decisiones que se toman a muy largo plazo no son relevantes cuando hay cambios no transientes y se utilizan tasas de descuento finitas. Por otra parte, los altos niveles de incertidumbre hacen que este tipo de análisis sea complejo de aplicar. Finalmente, las métricas de impacto no siempre son fácilmente asimilables a métricas económicas. Es por esto que estrategias como RDM se concentran más que en determinar los impactos esperados, en determinar los niveles de vulnerabilidad de algún indicador de desempeño en el contexto de estos escenarios de incertidumbre. Acompañando a la estrategia de RDM pero

dándole una dimensión temporal a la decisión surge el concepto de Caminos de Adaptación (o Adaptation Pathways) que considera que una decisión no se toman para un horizonte de tiempo largo sino que el camino hacia el futuro se construye a través de múltiples ciclos de decisión. En cada uno de esos ciclos se evalúa el estado de algún indicador, se proyecta a un horizonte de tiempo no muy lejano y se evalúa si el camino que se sigue considerando la incertidumbre sigue en estado deseable o se mueve hacia una condición de maladaptación.

Un ejemplo de la aplicación de este proceso en el marco del suministro de agua potable para la ciudad de Santiago se encuentra en el [Anexo 5-4-4](#). Por otra parte, el análisis de otras medidas como el uso de seguro agrícola ([Anexo 5-4-5](#)), medida asociada a la re-operación de centrales hidroeléctricas ([Anexo 5-3-1](#)) o medidas asociadas a la actividad agrícola ([Anexo 5-3-3](#)) también fueron analizadas.

6 Productos del Proyecto (Outputs)

Como resultado de las actividades descritas en la sección anterior, se han generado una serie de productos. Estos varían desde modelos de simulación de distintos componentes considerados en el proyecto, así como distintas series de datos y escenarios futuros para la cuenca.

Como productos integradores, se consideran además una serie de reportes técnicos e informes temáticos de componentes específicos, tales como el riego de parques urbanos, plan de monitoreo ambiental, descripción del trabajo con los modelos, etc.

Finalmente, a partir del trabajo académico y de investigación, se han generado una serie de publicaciones científicas, presentaciones en congresos y reuniones científicas, además de trabajos de tesis de estudiantes adscritos al proyecto.

Todos estos productos están quedando disponibles en la página web del proyecto.

6.1 Modelos de simulación

- Modelos WEAP
 - Modelo Glaciar
 - Modelo Hidrología
 - Modelo Distribución Agua Potable
 - Modelo Distribución y Demanda Agrícola
- Modelo de Calidad de aguas (Qual2K)
- Modelo de Hidrología Periurbana

6.2 Series de datos / Escenarios futuros.

- Series de clima futuro (pp y temperatura)
- Escenarios de cambio de uso de suelo futuro
- Series de distintas variables de interés, tales como caudales, demanda urbana y agrícola, etc.

6.3 Reportes

Como parte de los productos desarrollados en el marco del proyecto, fueron una serie de reportes específicos sobre temáticas de interés, los cuales se configuran como publicaciones técnicas que analizan un tema específico y/o proponen acciones a tomadores de decisión interesados.

A continuación, se presentan cada uno de estos documentos:

1. **La Vulnerabilidad a escala local: Marco conceptual y metodológico para seis comunas de la Región Metropolitana, Chile.**

Descripción:

El proyecto “Vulnerabilidad y Adaptación a la Variabilidad y al Cambio Climático en la Cuenca del río Maipo en Chile Central” tiene por objetivo principal, desarrollar opciones de adaptación con

respecto a la variabilidad y el cambio climático en la cuenca del río Maipo. En este sentido, el poder identificar la vulnerabilidad de los diferentes tipos de usuarios del agua, es un elemento clave del proyecto, para que el plan considere la diversidad y complejidad de los diferentes usuarios del agua, a nivel de la cuenca del Río Maipo.

El objetivo específico número dos del proyecto, justamente va en esta línea, ya que considera la “Identificación de vulnerabilidades y diseño de estrategias de adaptación para el sector urbano y agrícola”, proponiendo en su desarrollo, un análisis de vulnerabilidad de comunas pilotos, tanto urbanas como rurales, que se ubican dentro de la cuenca del Maipo.

Para la selección de los casos de estudio, se consideraron diversos criterios que permitieran seleccionar un conjunto de comunas, que reflejaran la diversidad regional. De acuerdo a la propuesta técnica, se deberían escoger comunas que tuvieran condiciones socioeconómicas variadas y que su situación urbano/rural, fuera distinta. En este sentido, se seleccionaron las comunas urbanas de Providencia y Cerro Navia, las comunas periurbanas de Maipú y La Pintana y las comunas rurales de Calera de Tango y Lampa.

Posterior a la selección de las comunas, se procedió a desarrollar una metodología para el análisis de vulnerabilidad, que fuera coherente con la unidad de análisis propuesta, la comuna, y que permitiera comparar las comunas seleccionadas, además de aportar en la comprensión de las diferencias que existen al interior de cada una de las comunas, donde las particularidades de los distintos grupos que conviven dentro de los límites administrativos, también son diversas.

El objetivo del documento, es dar cuenta del proceso de selección de las comunas y de la propuesta metodológica para analizar la vulnerabilidad desde el punto de vista local.

El documento completo se encuentra en el [Anexo 6-3-1](#)

2. Propuesta de Plan de Monitoreo Ambiental en la cuenca del río Maipo (Borrador)

Descripción:

Este documento busca establecer las bases de trabajo para el desarrollo de un Plan de Monitoreo Ambiental de largo plazo para la cuenca del Río Maipo. La propuesta de este Plan se estructura en tres secciones principales. Dentro de los límites del proyecto se avanzó en las dos primeras secciones de esta estructura propuesta:

- En una primera sección se presenta una **discusión de los objetivos del Plan de Monitoreo** y de los principios que idealmente deberían regirlo
- En una segunda sección se presenta un **diagnóstico de la información disponible** en base a monitoreos que se lleven en la actualidad tanto por parte del sector público como privado.
- Finalmente se presenta una discusión de los elementos que idealmente deberían formar parte del Plan de Monitoreo y una agenda para priorizar su desarrollo en un futuro cercano. Este punto quedó planteado en la discusión con los actores, sin lograr mayores avances hasta la fecha.

El documento completo se encuentra en el [Anexo 6-3-2](#).

3. Consumo de agua para riego de áreas verdes: Parques Urbanos

Descripción

Este documento da cuenta de los resultados de la investigación realizada en los 16 parques urbanos de la ciudad de Santiago que son administrados por el Parque Metropolitano de Santiago (PMS), dependiente del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). El objetivo del trabajo realizado fue recopilar información relevante sobre consumos de agua y prácticas de riego en los parques, para aportar en la comprensión del consumo de agua para riego de áreas verdes urbanas en el marco del proyecto MAPA. Es importante considerar, que estos 16 parques son áreas verdes de gran extensión, de más de 2 hectáreas, que en total corresponden a una superficie de 151 hectáreas de la ciudad de Santiago y que en su mayoría fueron construidos en el marco del Programa de Parques Urbanos del MINVU, que fue ejecutado dentro de los años 1992 y 2002.

La metodología empleada en esta investigación, combinó métodos cualitativos, tales como: observación en terreno y entrevistas estructuradas a informantes claves (jefes de terreno y/o capataces de los parques). Las visitas a terreno se realizaron entre el 25 de marzo y 24 de abril del 2013, durante el periodo en que aún se realizaban actividades de riego.

El documento completo se encuentra en el [Anexo 6-3-3](#).

6.4 Publicaciones Científicas

Parte de la labor de los investigadores del proyecto queda plasmada en la forma de trabajos que buscan aportar al conocimiento científico existente, mediante su publicación en revistas especializadas con comité editorial de pares que aseguren se calidad.

A continuación, se listan los trabajos desarrollados en el marco de este proyecto, tanto aquellos aceptados para su publicación, aquellos que se encuentran en proceso de revisión por parte del comité editorial, los que se encuentran en etapas finales de preparación para su envío y aquellos en que el trabajo de escritura se encuentra en etapas más tempranas de desarrollo.

Tabla 6-1. Listado de publicaciones científicas desarrolladas en el marco del proyecto.

#	Titulo-tema	Autor principal	Otros autores	Revista	Estado
1	Scientists, Policymakers, and Stakeholders Plan for Climate Change: A Promising Approach in Chile's Maipo Basin	Ocampo-Melgar	Vicuña, Gironas, Varady, Scott	Environment	En prensa Anexo 6-4-1

#	Titulo-tema	Autor principal	Otros autores	Revista	Estado
2	Temporal dynamics of suspended sediment transport in a glacierized Andean basin	Mao	Carrillo	Geomorphology	Aceptado Anexo 6-4-2
3	Geo-PUMMA: Urban and Peri-urban Landscape Representation Toolbox for Hydrological Distributed Modeling	Sanzana	Gironás, Braud, Branger, Rodriguez, Vargas, Hitschfeld, Muñoz, Vicuña	Environmental Modelling & Software	En revisión
4	Generating coherent short and long term climate time series in semi-arid and Mediterranean regions for climate variability and climate change impact assessments	Chadwick	Vicuña, Gironas	Water Resources Research	En revisión Anexo 6-4-3
5	Water option contracts for climate change adaptation in Santiago (Chile)	Vicuna	Gil, Melo, Merino, Donoso	Water International	En revisión Anexo 6-4-4
6	Consumo de agua a nivel residencial	Melo	Fercovic, Foster	Development & Climate Change	En revisión
7	Land use future scenarios and public policies: The case of Maipo river basin 2030-2050	Henriquez-Dole	Uson, Vicuña, Henriquez	Land use policy	Preparación final manuscrito
8	Future water allocation under global change scenarios and its impacts on agriculture in central Chile	Henriquez-Dole	Vicuña, Merino, Neira, Meza	Journal of Water Resources Planning and Management	Preparación final manuscrito
9	Demanda de agua residencial	Melo	Ruiz, Gil	Por definir	En preparación

#	Titulo-tema	Autor principal	Otros autores	Revista	Estado
10	Consumo de agua en áreas verdes, demanda fisiológica de las plantas y adaptación al cambio climático	Reyes-Paecke	Hernández, Merino, Gironas, Herrera, Vicuña	Landscape and Urban Planning (u otra con foco más en la temática hidrológica)	En preparación
11	Factores sociales y culturales involucrados en el riego de las áreas verdes urbanas; su importancia para el diseño de estrategias de adaptación al cambio climático	Reyes-Paecke	Pavez, Barton	Por definir	En preparación
12	Barreras y oportunidades para la adaptación	Borgias	Scott, Vicuna, Bonelli	Ecology and Society	En preparación
13	Percepciones y acción frente al cambio climático	Melo	Bustos, Vicuna	Development & Climate Change	En preparación
14	Análisis de alternativas para al adaptación en producción de agua potable	Gil	Melo, Vicuña, Merino, Bonelli	Por definir	En preparación
15	Impactos y adaptación en cuenca altamente urbanizada	Vicuña	Bustos, Merino, Henriquez, Donoso	Climatic Change	En preparación
16	Modelo hidrolaciologico	McPhee	Castillo, Escobar	Por definir	Sin avances

6.5 Congresos

Parte importante de los productos desarrollado por estudiantes e investigadores ligados al proyecto, fue el dar a conocer su trabajo en distintas instancias de exposición frente a pares y reuniones científicas, tanto a nivel nacional como internacional.

A continuación, se listan los trabajos expuestos, ya sean en formato presentación oral o poster desarrollados en el marco del proyecto.

Tabla 6-2. Trabajos de presentados en congresos y reuniones científicas

Título del Trabajo	Autores	Evento	Fecha	N° Anexo
Presentación: The co-production of climate-change adaptation indicators at a basin scale: The Maipo basin in Central Chile	• Ocampo, A. • Vicuña, S. • Gironás, J. • Varady, R. • Scott, C.	Fourth International climate change adaptation conference – Adaptation Futures	Rotterdam, Holanda Mayo 2016	6-5-1
Presentación: Challenges and opportunities for urban water adaptation using a basin perspective: The case of Santiago de Chile	• Vicuña, S.	Eigth INSEE Biennial Conference “Urbanization and the Environment”	Bengaluru India. Enero 2016	6-5-2
Presentación: Climate change adaptation in a highly urbanized snowmelt dominated basin in Central Chile	• Vicuña, S. • E Bustos • P Merino • L. Henriquez • S. Jensen • M. Gil • A. Ocampo • D. Poblete • D. Tosoni • S. Bonelli • F Meza • G. Donoso • O. Melo	AGU Meeting Fall	San Francisco, EE.UU. 14 – 18 diciembre, 2015	6-5-3
Poster: Geo-PUMMA: Urban and Peri-urban Landscape Representation Toolbox for Hydrological Distributed Modeling	• P. Sanzana • J. Gironás • L. Braud • F. Branger • F. Rodriguez • X. Vargas • N. Hitschfld • J. Muñoz • S. Vicuña	AGU Meeting Fall	San Francisco, EE.UU. 14 – 18 diciembre, 2015	6-5-4

Título del Trabajo	Autores	Evento	Fecha	N° Anexo
Presentación: Modelación de la calidad del agua del río Mapocho frente a escenarios futuros	• C. Echeverría • G. Pizarro • S. Vicuña	XXI congreso chileno de ingeniería hidráulica	Santiago, Chile 21-23 octubre 2015	6-5-5
Poster: Gestión Hídrica en la Cuenca del Río Maipo: Implicancias en el Uso Pleno de los Derechos de Agua	• L. Henríquez-Dole • S. Vicuña • J. Gironás	XXII Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica	Santiago, Chile 22-23 octubre de 2015	6-5-6
Presentación: Gestión de la distribución del agua bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del río maipo	• L. Henríquez-Dole • P. Merino • S. Vicuña • J. Gironás	IV Congreso Paraguay de Recursos Hídricos	San Lorenzo, Paraguay 3 – 7 agosto, 2015	6-5-7
Poster: Water security indicators for a climate variability and climate change adaptation process in the Maipo River basin in Central Chile	• S. Vicuña • A. Ocampo-Melgar • J. Gironás	Common Futures	Paris, Francia 7-10 julio, 2015	6-5-8
Presentación: Partnerships for building a climate change adaptation plan in a highly urbanized basin in Central Chile	• Vicuña, S.	World Water Congress XV	Edimburgo, Escocia Mayo, 2015	6-5-9
Presentación: Science- society collaboration for robust adaptation planning in water management – The Maipo River Basin in Chile.	• A. Ocampo-Melgar • S. Vicuña • J Gironás	European Geosciences Union Conference	Viena, Austria 12 – 17 abril, 2015	6-5-10
Poster: Hysteretic patterns of suspended sediment discharge in a glacierized Andean catchment	• R. Carrillo • L. Mao • D. Morche	Europeann Geosciences Union Conference	Viena, Austria 12 – 17 abril, 2015	6-5-11

Título del Trabajo	Autores	Evento	Fecha	N° Anexo
Poster: Modelación de la calidad del agua del río Mapocho frente a escenarios de cambio climático	• C. Echeverría • G. Pizarro • S. Vicuña	II Conferencia Internacional CEDEUS	Concepción, Chile 25 - 26 marzo 2015	6-5-12
Presentación: Collaborative adaptation planning for water security: Preliminary lessons, challenges, and the way forward for Maipo Basin Adaptation Plan, Chile	• S. Vicuna • C. Scott • S. Bonelli • E. Bustos • F. Meza	AGU Meeting Fall	San Francisco, EE.UU. 15 - 19 diciembre, 2014	6-5-13
Poster: Hysteretic patterns of suspended sediment discharge in a glacierized Andean catchment	• L. Mao • R. Carrillo • C. Escauriaza	AGU Meeting Fall	San Francisco, EE.UU. 15 - 19 diciembre, 2014	6-5-14
Poster: Generating future climate time series in semi-arid regions for hydrologic modeling	• C. Chadwick • S. Vicuña • J. Gironás	AGU Meeting Fall	San Francisco, EE.UU. 15 - 19 diciembre, 2014	6-5-15
Presentación: Percepciones y Acciones Frente al Cambio Climático y las Sequías en Tres Cuencas de Chile	• Melo, O. • Perez, J. • S. Vicuña	International Expert Symposium. Coping with Droughts: Building a Community of Practice on Drought Management Tools.	Santiago, Chile, 19-21 Noviembre de 2014.	6-5-16
Presentación: Diferencias en modelación glacio-hidrológica en cuencas con glaciares blancos y cubiertos	• Y. Castillo • J. McPhee • M. Escobar	XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica	Santiago, Chile Agosto, 2014	6-5-17

Título del Trabajo	Autores	Evento	Fecha	N° Anexo
Poster: Recent micrometeorological studies of sensible heat flux in vineyards using Surface Renewal Analysis in Pirque, Santiago de Chile	• D. Tosoni • F. Meza	Seminario: “Hacia una Agricultura Sustentable: Avances y desafíos en áreas clave para Chile y California”	Santiago, Chile 24-26 junio 2014	6-5-18
Presentación: Reality Check: Asaptation on the ground in Santiago Chile. From climate threats to climate action in the city of Santiago de Chile and the Maipo Basin – The science perspective	• J. Barton • S.Vicuña	5 th Global Forum on Urban Resilience and Adaptation – Resilient Cities 2014 – ICLEI	Bonn, Alemania 29-31 Mayo 2014	6-5-19
Presentación: Water resources modeling and management tools applied to semi-arid systems in the Chilean Central Andes	• E. Bustos • F. Meza • S. Vicuña • G. Fuenzalida	Cuarto Congreso Internacional de Gestión del Agua en Minería.	Viña del Mar, Chile. 28 – 30 Mayo 2014	6-5-20
Presentacion: The participative construction of future scenarios for the development of an adaptation plan to climate variability and change in the Maipo river basin in Chile	• C. Henríquez • S. Vicuña • T. Usón	Third International Climate Change Adaptation Conference - Adaptation Futures	Fortaleza, Brasil 12-16 Mayo 2014	6-5-21
Presentacion: Institutional perspectives on climate change: Knowledge sharing for adaptative wáter management in the Maipo basin, Chile	• S. Bonelli • C. Scott • S. Vicuña	Third International Climate Change Adaptation Conference - Adaptation Futures	Fortaleza, Brasil 12-16 Mayo 2014	6-5-22

Título del Trabajo	Autores	Evento	Fecha	N° Anexo
Poster: Vulnerability analysis in two peri-urban municipalities of the metropolitan región of Santiago, Chile	• C. Pavez • J. Barton • S. Reyes	Third International Climate Change Adaptation Conference - Adaptation Futures	Fortaleza, Brasil 12-16 Mayo 2014	6-5-23
Poster: Irrigation of urban parks: A challenge for adaptation to climate change in mediterranean cities.	• C. Pavez • S. Reyes • J. Barton, • F. Salinas	Third International Climate Change Adaptation Conference - Adaptation Futures	Fortaleza, Brasil 12-16 Mayo 2014	6-5-24

6.6 Tesis de Postgrado

Parte de las actividades contenidas en el objetivo 1 corresponden a la formación de capital humano avanzado, expresado como becas otorgadas a estudiantes de magister y doctorado, las cuales tengan como foco de trabajo, las áreas de interés del proyecto MAPA.

Tal como se menciona en la sección 5.1.5, existe un alto número de estudiantes que han pasado por el proyecto. En la Tabla 6-3 se incluyen aquellos trabajos de tesis de postgrado que fueron concluidos dentro del marco del proyecto. Procesos de doctorado o que no han finalizado dentro del marco del proyecto, se consideran en las secciones de Publicaciones Científicas y/o Congresos.

Tabla 6-3. Tesis de postgrado concluidas en el marco del proyecto

Título del Trabajo	Tesista	Grado	Profesor Guía	Unidad Académica	N° Anexo
Percepciones y Acciones frente al Cambio Climático en tres Cuencas de Chile	Javiera Pérez	Pre-grado	Oscar Melo	Depto. Economía Agraria. Facultad de Agronomía UC	6-6-1
Determinantes del consumo de agua potable en Santiago de Chile a nivel residencial	Camilo Ruiz	Magister	Oscar Melo	Depto. Economía Agraria. Facultad de Agronomía UC	6-6-2
Temporal and spatial dynamics of suspended sediment transport in a glacialized andean basin	Ricardo Carrillo	Magister	Luca Mao	Depto. Ecosistemas y Medio Ambiente, Facultad de Agronomía UC	6-6-3

Título del Trabajo	Tesista	Grado	Profesor Guía	Unidad Académica	N° Anexo
Caracterización de la hidrología glaciaria de la cuenca del río Maipo mediante la implementación de un modelo glacio hidrológico semi-distribuido físicamente basado	Yuri Castillo	Magister	James McPhee	Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile	6-6-4
Modelación de la calidad del agua del río Mapocho frente a escenarios futuros	Camila Echeverría	Magister	Gonzalo Pizarro	Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Escuela de Ingeniería UC	6-6-5
Seguro agrícola basado en índices climáticos para sequías hidrológicas como una estrategia de adaptación al Cambio Climático en Chile	Sarah Jensen	Magister	Guillermo Donoso	Depto. Economía Agraria. Facultad de Agronomía UC	6-6-6
Riego de las áreas verdes urbanas y capacidad de adaptación al cambio climático en el área metropolitana de Santiago	Francisca Salinas	Magister	Sonia Reye	Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales UC	6-6-7

6.7 Productos de comunicación

6.7.1 Página Web

Tal como se describió en la sección 5.1.6, se diseñó y desarrolló una plataforma web para el proyecto que sirva de repositorio de documentos, registro de actividades y eje central para el registro del proceso desarrollado. La dirección web es <http://maipoadaptacion.cl>, y a lo largo del proyecto ha tenido un importante volumen de visitas, según se muestra en la Figura 6.1.

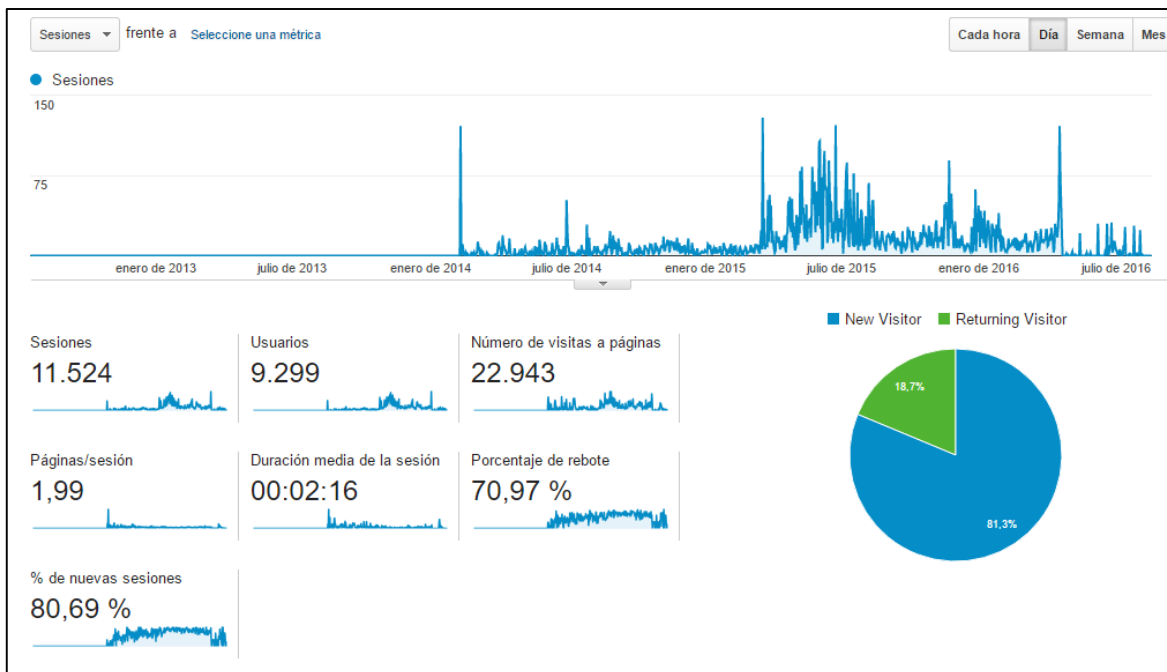


Figura 6.1. Estadísticas del sitio web maipoadaptacion.cl.

Se espera que, luego de la remodelación de sitio actualmente en curso, el flujo de visitantes de la página web se reestablezca y aumente, dado que será en este lugar donde se volcarán los contenidos en el proyecto.

6.7.2 Newsletter

La publicación del Newsletter o Boletín de Noticias del proyecto implicó el desarrollo de 5 números hasta este momento publicados, estando un último número en desarrollo ([Anexos 5-1-18 a 5-1-22](#)). El detalle de los boletines generados se presenta en la tabla a continuación:

Tabla 6-4. Detalle de contenido de los boletines de noticias publicados por el proyecto.

	Numero					
Sección	Junio 2013	Octubre 2013	Junio 2014	Octubre 2014	Junio 2015	Octubre 2015*
Temática de Portada	Presentación Proyecto MAPA	Una sequía que se profundiza	El sector Urbano en MAPA	El sector Rural en MAPA	Ecosistemas en la cuenca del Maipo	Los múltiples usuarios del agua en la cuenca del Rio Maipo
Presentación Instituciones	IDRC	CEPAL	SEREMI - MINVU	CNR	SEREMI MMA	Gener
	CCG	MMA	SISS	INDAP-RM	SAG-RM	Angloamerican
		GORE	APR Batuco	ODEPA	TNC	CCU
		SUBDERE	Aguas Andinas	C. Unidos de Buin	TERRAM	J. V. Rio Maipo
			SMAPA	Canal Castillo	Chile Sustentable	SCM
				Canal Naltahua	CONAF	
				SNA		
				AMUR		
Actividades GCE	Reunión Isla Maipo	Reunión Lampa	Reunión Buin	Reunión Sn José Maipo	Reunión Quilicura	Reunión Santiago
Presentación de temáticas de Investigación	Objetivos MAPA	Modelo WEAP - SEI	Plan de Monitoreo Ambiental	Análisis institucional	Impacto hidrológico y vulnerabilidad	Estrategias de adaptación
	Maipo Cuenca de Estudio	Escenarios Climáticos - GCMs	Desarrollo escenarios uso de suelo Consumo de agua urbano	Consumo de agua agrícola Distribución de agua OUAs		
Tema educación y transferencia	Cambio Climático y Variabilidad Climática	Glosario de Cambio Climático	¿Qué es una Cuenca?	Seguridad Hídrica/Servicios Ecosistémicos	Vulnerabilidad en la cuenca y glaciares	Adaptación
* El último número de este boletín se encuentra en desarrollo, teniendo estimada su publicación para el mes de septiembre de 2016.						

6.7.3 Videos

Otro de los productos de comunicación desarrollados por el proyecto fue la edición de una serie de videos alojados en la plataforma Youtube. Los videos responden a tres objetivos principales:

1. **Documentar el proceso** de relación con los actores locales participantes, la dinámica de trabajo con el Grupo de Construcción de escenarios, las iniciativas de transferencia, además de recoger algunas de sus impresiones al término del proyecto.



El video puede ser accedido en el siguiente enlace: <https://youtu.be/WoUhaH5ADk0>

2. **Registrar el Seminario de Cierre del proyecto**, dada su característica de actividad integradora y como resumen de los resultados del proyecto. Adicionalmente esta actividad se configuró como un espacio de discusión sobre el proyecto y sus temáticas relacionadas, tanto desde el punto de vista de autoridades nacionales, actores locales e instituciones internacionales, el cual fue de alto valor poder registrar y ofrecer como producto del proyecto.



Esta serie de cuatro videos puede ser accedido en el siguiente enlace:

https://www.youtube.com/playlist?list=PLLoeymWTuU2mFq55vMrs_l4nkC6wpcRIM

3. **Destacar algunos resultados específicos del proyecto**, mediante videos del tipo infográfico, de manera tal de socializar los resultados para componentes destacados del proyecto, tales como sistema cordillerano, sector agrícola y sector urbano. Se planea desarrollar tres cápsulas de video, una por tema mencionado. Estos productos se planea tenerlos desarrollados durante el segundo semestre del 2016.

7 Resultados del proyecto (Outcomes)

7.1 Grupo de Construcción de Escenarios (GCE)

Hacia el mes de julio de 2014, un total de 31 organizaciones conformaban este grupo (Tabla 7-1), el cual desde la fecha de inicio formal del proyecto (Septiembre de 2012) fue creciendo y modificando su configuración hasta el conjunto definitivo más adelante descrito. Este grupo se constituyó con representantes de varias agencias nacionales y locales de gobierno, incluyendo aquellas interesadas en la gobernanza del cambio climático y/o en el uso de los recursos hídricos, al igual que usuarios locales de estos recursos, abarcando desde organizaciones del sector privado que proveen servicios de agua potable a Santiago hasta asociaciones de regantes en el sector rural de la cuenca. Más aun, varias organizaciones multilaterales, tales como CEPAL, una organización internacional de alta reputación, y varias organizaciones no gubernamentales representantes de la sociedad civil, apoyaron también esta iniciativa del CCG. Es importante enfatizar que este ha sido un grupo altamente representativo del rango de actores interesados en el problema de la seguridad hídrica en la cuenca del Maipo, actores que representan intereses dispersos y no siempre en armonía los unos con los otros en lo que respecta a sus enfoques, visiones y actividades. La posibilidad de unir estos intereses en torno a una mesa de trabajo, discusión y colaboración en torno a un proyecto científico con fines altamente prácticos ha sido uno de los grandes éxitos del proyecto MAPA.

Tabla 7-1. Instituciones participantes del Grupo de Construcción de Escenarios (GCE).

Sector Público		
Oficina de Cambio Climático <i>Ministerio del Medio Ambiente</i>	Oficina de Estudios y Políticas Agrarias <i>Ministerio de Agricultura</i>	
División de Recursos Naturales, Residuos y Evaluación de Riesgo <i>Ministerio del Medio Ambiente</i>	Comisión Nacional de Riego <i>Ministerio de Agricultura</i>	
Secretaría Regional Ministerial – Región Metropolitana Ministerio del Medio Ambiente	Corporación Nacional Forestal <i>Ministerio de Agricultura</i>	
Dirección General de Aguas <i>Ministerio de Obras Públicas</i>	Instituto de Desarrollo Agropecuario – Región Metropolitana <i>Ministerio de Agricultura</i>	
Superintendencia de Servicios Sanitarios <i>Ministerio de Obras Públicas</i>	Servicio Agrícola y Ganadero – Región Metropolitana Ministerio de Agricultura	
Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo <i>Ministerio del Interior y Seguridad Pública</i>	Secretaría Regional Ministerial <i>Ministerio de Agricultura</i>	
Secretaría Regional Ministerial – Región Metropolitana <i>Ministerio de Vivienda y Urbanismo</i>		
Usuarios de Agua		
Aes Gener S.A.	Aguas Andinas S.A.	AngloAmerican S.A.

Comité de Agua Potable Rural Batuco Santa Sara	Asociación Canales Unidos de Buin	Asociación de Canalistas Canal Castillo
Confederación de Canalistas de Chile	Junta de Vigilancia de la Primera Sección Rio Maipo	Compañía de Cervecerías Unidas (CCU) S.A.
Comunidad de Aguas Canal Naltahua	Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (SMAPA) – Maipú	Sociedad del Canal de Maipo
Sociedad Nacional de Agricultura		
Organismos Multilaterales – Sociedad Civil – Organizaciones No Gubernamentales		
ECLAC	Asociación de Municipios Rurales Región Metropolitana	The Nature Conservancy (TNC) Chile
Fundación Terram	Programa Chile Sustentable	

Destaca en este grupo de actores, su sentido de grupo, representatividad, reflejado en la alta participación de los mismos en todo el ciclo de reuniones e intercambio con equipo investigador.

7.2 Discusión y consolidación de un marco conceptual para el diseño de indicadores de desempeño de la cuenca.

A partir de las reuniones realizadas con el Grupo de Construcción de Escenarios, y como parte de este objetivo se consideró la discusión y consolidación de un marco conceptual y de un plan de trabajo con estos actores para el logro de un plan de adaptación y de un plan de monitoreo de variables relevantes, el nació de un proceso de reflexión y diálogo del Grupo de Construcción de escenarios, el cual comenzó en la definición de la Visión de futuro de la cuenca (Reunión GCE N°3, Mayo 2014). Los componentes mencionados en ésta visión eran adscritos al concepto de Seguridad Hídrica de las Naciones Unidas, por lo que se utilizó este concepto como marco guía para el resto del proceso. En este taller del GCE se debatieron los factores importantes en los cuáles se pensaban al hablar de seguridad hídrica y sus cinco componentes esenciales: medios de vida, desarrollo socioeconómico, conservación de ecosistemas, protección contra desastres y protección contra la contaminación y sus consecuencias. Tres mesas de trabajo debatieron los potenciales factores referidos al sector urbano, sector rural y las áreas de cordillera. De estas mesas se recogieron más de 80 aspectos que representaban diferentes tipos de indicadores y formas de medir el éxito de una medida de adaptación: resultados, gestión, procesos. Esta primera lista fue analizada y organizada por el equipo técnico de MAPA quien identificó similitud entre los factores o indicadores de cada mesa y una jerarquía que iba desde los aspectos materiales que se quieren lograr a corto plazo, hasta esos objetivos superiores o de muy largo plazo que pueden o no, resultar de la satisfacción de los anteriores.

Del análisis anterior surgió un diagrama vinculando seguridad hídrica-servicios ecosistémicos-bienestar humano. Este diagrama fue presentado, corregido y validado en diferentes reuniones

sectoriales y talleres del GCE hasta lograr una imagen representativa de lo que todos los participantes de este diálogo identificaron como indicadores relevantes en la cuenca del Maipo. El diagrama final resultó en un marco conceptual de indicadores de desempeño. Cada aspecto identificado en este marco representa una serie de necesidades que deben ser consideradas al establecer medidas y estrategias de adaptación a futuro. Al mismo tiempo, este marco muestra los vínculos clave que deben ser estudiados, modelados y evaluados para establecer vulnerabilidades en diferentes escalas espaciales (individual, local, regional, etc.). De esta manera, el vínculo entre agua, producción de bienes y servicios, ocupación rentable y bienestar humano, se debe analizar desde la perspectiva de un productor individual, hasta la perspectiva del Estado como solicitantes de bienes y servicios. El plan de adaptación es entonces, una serie de medidas para fortalecer estos vínculos claves entre indicadores a diferentes escalas, que permitan el desarrollo de la sociedad hacia el futuro. El esquema final resultante de este trabajo, se adjunta en la Figura 7.1. Una explicación más elaborada del proceso de coproducción de este marco se puede encontrar en Ocampo-Melgar et al., 2016 ([Anexo 6-4-1](#)).

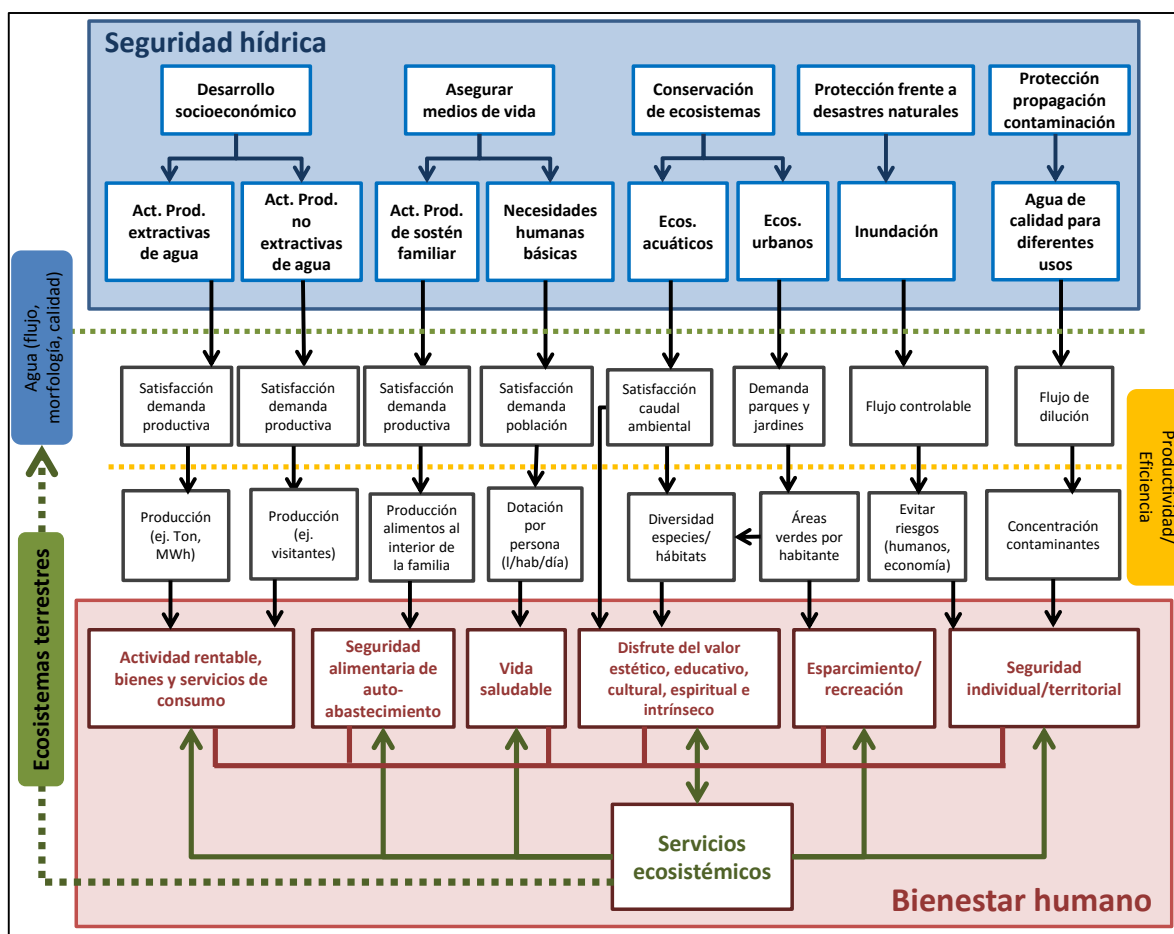


Figura 7.1. Marco de Seguridad Hídrica - Bienestar Humano y Servicios Ecosistémicos.

7.3 Impactos en términos de investigación

En términos de la investigación que se ha desarrollado en el proyecto MAPA se pueden identificar una serie de elementos innovadores y escalables que pueden servir de base para experiencias similares en otros contextos. A continuación, se describen aquellos elementos más rescatables:

- Herramienta para la generación de escenarios climáticos futuros en el uso de modelos hidrológicos
- Herramienta para la generación de escenarios de uso de suelo
- Marco de seguridad hídrica y bienestar humano para el análisis de indicadores y definición de Plan de Adaptación a nivel de cuenca
- Representación explícita de glaciares en modelos de recursos hídricos y análisis de impactos futuros
- Análisis integral del riego de parques y áreas verdes en ciudades
- Opciones de arriendo de agua como medida de adaptación al suministro de agua potable
- Análisis de percepciones y acciones individuales frente al cambio climático y sus impactos en recursos hídricos

7.4 Impacto a nivel nacional

El proyecto MAPA en cuanto a la experiencia, las metodologías e información desarrollada ha tenido un impacto importante a nivel nacional. Algunos ejemplos relevantes son los siguientes:

- La empresa Aguas Andinas se encuentra desarrollando un estudio para analizar posibles medidas de adaptación en relación al consumo de agua en la ciudad de Santiago. Este trabajo parte de la base de los modelos desarrollados en el marco del proyecto MAPA. Los resultados de este trabajo van a configurar un Plan de Sequias y Cambio Climático de la empresa.
- Por otra parte, la misma empresa va prontamente a invertir en una extensión del modelo WEAP desarrollado para representar la simulación de la distribución de aguas para la ciudad de Santiago. El foco va a estar asociado a la simulación de la subcuenca del río Mapocho.
- Otro ejemplo del impacto que ha tenido el proyecto es su inclusión de manera importante en el Capítulo de Impactos y Adaptación de la Tercera Comunicación Nacional de Chile frente a la Convención Marco de Naciones Unidas frente al Cambio Climático.

7.5 Impacto a nivel internacional

Al momento de concebir el proyecto MAPA, se tuvo siempre presente que los aprendizajes y capacidades fuesen compartidos y presentados no tan solo en el contexto nacional, sino que también en distintos países, en términos amplios en el contexto de colaboración sur-sur.

Es así como se han desarrollado una serie de actividades que han impulsado una colaboración internacional y un aporte a las capacidades de la región para hacer frente a estos temas. A continuación, se describen algunos de los hitos principales en este respecto:

- Dentro de los beneficiarios a las becas de postgrado entregadas por el proyecto se puede destacar una importante participación de estudiantes latinoamericanos. Se entregaron en total 6 becas a estudiantes e investigadores latinoamericanos no chilenos (Ver sección 5.1.5).
- Asimismo, se han generado distintas instancias de intercambio y colaboración con distintos grupos en distintos países de la región. Destaca en este sentido el taller MAPA-CEPAL, en donde se reunieron más de 45 expertos de la región, provenientes de 13 países de la región, los cuales durante tres días pudieron compartir sus experiencias en las temáticas tratadas por el proyecto. Por su parte el equipo de investigación MAPA pudo presentar y someter a discusión parte importante de su trabajo desarrollado, tanto en temáticas como el desarrollo de modelos de simulación, estrategias de análisis, metodologías utilizadas, etc (ver [Anexo 5-1-14](#)).
- Adicionalmente, el equipo de investigadores ha tenido la oportunidad de visitar algunos países, invitados a presentar y compartir las experiencias del proyecto MAPA en el marco de iniciativas locales de investigación. A continuación, se presentan los distintos intercambios realizado:

Investigador	Eduardo Bustos
País	Argentina
Fecha	22 al 24 de abril de 2014
Institución Anfitriona	Fundación Bariloche – U. Nacional del Comahue
Proyecto	Adaptación al Estrés Hídrico en la región del Comahue - Climagua
Anexo	7-5-1
Descripción: Se participó en una reunión del grupo de investigadores del proyecto Climagua (http://www.climagua.org.ar/), mediante la realización de dos presentaciones temáticas. La primera de ellas sobre el modelo WEAP de la cuenca del río Maipo, y la segunda sobre metodología de generación de clima futuro y técnicas de Downscaling.	

Investigador	Sebastian Vicuña
País	Bolivia
Fecha	5 al 6 de noviembre de 2015
Institución Anfitriona	Fundación Agua Sustentable
Proyecto	Fortalecimiento de planes locales de inversión y adaptación al cambio climático en el Altiplano Boliviano
Anexo	7-5-2
Descripción: Se participó en una conferencia organizada por Fundación Aguas Sustentable donde se discutieron aspectos relacionados con la adaptación al cambio climático a nivel de cuencas. Fundación Aguas Sustentable está a cargo de un proyecto Fast Start financiado por IDRC.	

Investigador	Sebastian Vicuña
País	India
Fecha	1 de enero de 2016
Institución Anfitriona	ATREE – Ashoka trust for research in ecology and the environment
Proyecto	Adapting to Climate Change in Urbanizing Watersheds"(ACCUWa)
Anexo	http://www.atree.org/academy/sebastian_vicuna_01012016
Descripción: Como parte de la participación del investigador en una reunión internacional, se recibió la invitación a compartir la experiencia MAPA mediante una presentación al grupo ATREE (Ashoka Trust for Research in Ecology and Environment) en Bangalore India.	

Investigador	Sebastian Vicuña
País	Argentina
Fecha	2-5 de agosto de 2016
Institución Anfitriona	International Water Security Network (www.watersecuritynetwork.org/)
Proyecto	El Proyecto IWSN es un Proyecto financiado por la Lloyd's Register Foundation,
Anexo	7-5-3
Descripción: Como parte de las actividades de colaboración de la Red Internacional de Seguridad Hídrica (IWSN) se recibió la invitación a compartir la experiencia MAPA mediante una presentación en Taller de trabajo en Mendoza, Argentina.	

8 Evaluación General y Recomendaciones

8.1 Evaluación general y recomendaciones para el proceso de adaptación en la cuenca del Río Maipo

El objetivo principal del proyecto MAPA ha sido la articulación de un plan de adaptación frente a la variabilidad y el cambio climático en la cuenca del río Maipo. Un plan se puede concebir como un diagrama o una lista de pasos con fechas y recursos usados para lograr un objetivo. En el caso particular del proyecto MAPA, el objetivo consensuado con los actores para este plan es:

“Lograr seguridad hídrica y su bienestar humano asociado en la cuenca del Río Maipo frente a los impactos de la variabilidad y el cambio climático”

El proyecto MAPA ha contribuido de manera importante al logro de este objetivo a través del desarrollo de marcos de trabajo, información y herramientas relevantes en un espacio de co-producción con actores relevantes de la cuenca del río Maipo. Sin embargo, pese a estos logros, el proyecto no ha sido capaz de finalizar con lo que quisiéramos fuese un plan en su dimensión más precisa. Pese a que, a través del trabajo sistemático científico, se ha encontrado suficiente evidencia respecto de posibles impactos en distintos sistemas y sectores en la cuenca, y se han encontrado también posibles soluciones a estos impactos, no se cuenta al cierre del proyecto con una serie de plazos, recursos y responsables de lograr una implementación de un plan de adaptación.

Las razones son varias, pero principalmente apuntan a una falta de liderazgo y capacidades institucionales en estos temas. Para lograr el éxito del proyecto MAPA se requiere en ese sentido seguir trabajando con actores relevantes en la cuenca que puedan tomar lo realizado por el proyecto y proponer a partir de estos resultados y en el marco de una política regional institucional el desarrollo de este plan de adaptación.

Esta implementación debiese ser capaz de reconocer apoyos y sinergias que existen con algunas de las iniciativas e intereses que tienen algunos de los actores relevantes en la cuenca. De esta manera se puede también avanzar en algunos de los puntos inconclusos de desarrollo del marco IDAM. Abajo algunos ejemplos en este sentido:

- Modelación en la cuenca intermedia: la Dirección General de Aguas y la empresa Aguas Andinas tienen interés en avanzar en el desarrollo de modelos en la parte intermedia y baja de la cuenca.
- El plan de gestión de recursos hídricos y de infraestructura que desarrollará el Ministerio de Obras Públicas/DGA debiese poder incorporar los escenarios y herramientas desarrolladas en MAPA para así poder definir estrategias de adaptación.
- El Gobierno Regional y la secretaria regional ministerial del Ministerio de Medioambiente están coordinando la articulación de una mesa regional en torno a la temática del cambio climático. Ambos fueron actores activos del proyecto MAPA por lo que se espera que también utilicen los resultados del proyecto en ese contexto.
- El Gobierno Regional también se encuentra definiendo lo que va a ser el Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT). Se está revisando la implicancia que tendría esta regulación a través del uso del modelo de uso de suelo desarrollado en MAPA.
- Finalmente, la Comisión Nacional de Riego se encuentra desarrollando su plan de riego para la región Metropolitana. Este podría beneficiarse de los resultados y capacidades generadas en MAPA.

8.2 Recomendaciones generales para IDRC

A partir de la experiencia de gestión del proyecto MAPA y a modo de recomendaciones generales para IDRC y quienes desarrollen proyectos similares en el futuro podríamos destacar los siguientes puntos:

- **Participación de actores:** Pese a que el proceso consumió mucho tiempo es absolutamente necesario poder contar con un grupo de actores relevantes comprometidos con el proyecto. Sin la participación de actores en un proyecto de esta naturaleza los resultados científicos pierden mucha relevancia. Se deben crear los mecanismos para asegurar este compromiso. Nuestra experiencia es que este proceso puede llegar a tomar un semestre. En la formación del grupo se recomienda desarrollar la convocatoria teniendo claridad respecto del número máximo de actores, pero también estar abierto a que surjan nuevos nombres propuestos por los mismos actores que son convocados. Finalmente se recomienda mantener actualizadas las expectativas de resultados para mantener una relación franca con estos actores.
- **Becas de postgrado:** Es importante considerar lo lento que puede ser el proceso de búsqueda de alumnos de postgrado en Universidades en países en desarrollo que tienen postulaciones más limitadas. En nuestro caso propusimos un cronograma de inserción de alumnos en distintas facultades que fue complejo de mantener en un comienzo del proyecto.
- **Trabajo interdisciplinario:** El proyecto MAPA privilegió los espacios de contacto y trabajo entre profesionales y académicos de distintas disciplinas. Creemos que ese es un gran logro del proyecto. Una vez al semestre se sostuvieron seminarios de trabajos con distintos participantes del proyecto lo que permitió tener un alto nivel de conocimiento de lo que hacía cada grupo y también posibilitó el desarrollo de nuevas ideas de trabajo interdisciplinario.

- **Flexibilidad en objetivos:** Un proyecto de 3 años que tiene las típicas incertidumbres asociadas a un proyecto científico pero que además contempla de manera explícita e intensa un trabajo con actores tiene dificultades respecto al cumplimiento de plazos y objetivos específicos. Se requiere de una visión especial por parte del mandante (en este caso IDRC) para permitir cierta desviación respecto a aquellos objetivos especialmente cuando no atenten respecto al objetivo central del proyecto.
- **Comunicación:** Se recomienda plantear desde un comienzo un plan estratégico de comunicación que sea capaz de reconocer el contenido a comunicar, el público y los distintos medios disponibles para llegar al público con ese contenido. En este sentido nuestra experiencia con el desarrollo del Boletín de Noticias (Newsletter) permitió por una parte lograr una importante transferencia de conocimientos científico, pero también permitió estrechar vínculos con los distintos actores del proyecto.

9 Referencias

- Al-Omari, A., S. Al-Quraan, A. Al-Salihi and F. Abdulla. 2009. A Water Management Support System for Amman Zarqa Basin in Jordan, *Water Resources Management*, doi:10.1007/s11269-009-9428-z, 23, pp. 316-3189,
- Arnell, N.W. 2011. Incorporating climate change into water resources planning in England and Wales. *Journal of the American Water Resources Association*, 47(3): 541-549.
- Barnett, T.P., J.C. Adam, and D.P. Lettenmaier. 2005. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*. 438(7066): 303-309.
- Meza, F.J., S. Vicuña, M. Jelinek, E. Bustos, and S. Bonelli. Submitted. Urban and rural conflicting water use in a climate change sensitive basin in Central Chile. *Water Resources Management*.
- Bonelli, S., S. Vicuña, F.J. Meza, J. Gironas, J. Barton, in preparation. Reducing urban water vulnerability in Santiago: an assessment of adaptation strategies to climate change in a highly populated and water stressed basin.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2009. La economía del Cambio Climático en Chile. Síntesis. 88 pp. Available at <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/8/37858/W288.pdf>. Access: January 15, 2012.
- Chapra, S.C., G.J. Pelletier and H. Tao. 2008. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.11: Documentation and Users Manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.
- Dilling, L. and M.C. Lemos 2011. Creating usable science: Opportunities and constraints for climate knowledge use and their implications for science policy. *Global Environmental Change* 21 680–689
- Drechsel, P., C.A. Scott, L. Raschid, M. Redwood, A. Bahri (eds.). 2010. Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risks in Low-Income Countries. Earthscan, London and International Development Research Centre, Ottawa.
- Falvey, M., and R.D. Garreaud. 2009. Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979–2006). *Journal of Geophysical Research* 114(D4): 1-16.
- Fazey, I., Kesby, M., Evely, A.C., Latham, I., Wagatora, D., Hagasua, J-S., Reed, M., Christie, M., 2010. Reducing vulnerability- a three tiered learning approach for collaborative research in the Solomon Islands. *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions* 20, 713-728.
- Goddard, L., Hurrell, J. W., Kirtman, B. P., Murphy, J., Stockdale, T. Vera, C., 2012. Two Time Scales for The Price Of One (Almost). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 621–629.
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2007. Resultados del VIII Censo Nacional Agropecuario. Available at <http://www.censoagropecuario.cl/noticias/09/07042009.html>. Last access: December 20, 2011.

IPCC, 2014. Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

Melo, O., X. Vargas, S. Vicuña, F. Meza and J. McPhee. 2010. Climate change economic impacts on supply of water for the M&I sector in the Metropolitan region of Chile. Watershed 2010 management conference, Innovations in watershed management under land use and climate change, Madison, Wisconsin, August 23-27. ASCE Conf. Proc. doi:10.1061/41143(394)15.

Melo, O. 2011. A projection of the climate change impact on urban water consumption in a developing country: the case of Chile. 2011. Association of Environmental and Resource Economists, Inaugural Summer Conference, 9 - 10 June 2011, Seattle. Available at: <http://www.webmeets.com/aere/2011/Prog/viewpaper.asp?pid=411> Access: February 2012.

Meza, F.J., D.S. Wilks, L. Gurovich and N. Bambach. 2012. Impacts of climate change on irrigated agriculture in the Maipo Basin, Chile: Reliability of water rights and changes in the demand for irrigation. Journal of Water Resources Planning and Management doi

Meza, F.J., S. Vicuña, M. Jelinek, E. Bustos, and S. Bonelli. 2014. Urban and rural conflicting water use in a climate change sensitive basin in Central Chile. Water Resources Management.

Milly, P.C.D., J. Betancourt, M. Falkenmark, R.M.Hirsch, Z.W. Kundzewicz, Lettenmaier D.P., and R.J. Stouffer. 2008. Stationarity Is Dead: Whither Water Management? Science, 319: 573-574.

Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. 2011. Segunda Comunicación Nacional de Chile Ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Santiago, Chile. 292 pp. Available at http://www.mma.gob.cl/1257/articles-50880_documentoCambioClimatico.pdf. Last access: February. 2012.

O'Brien K, S. Eriksen, L.P. Nygaard, A. Schjolden. 2007. Why different interpretations of vulnerability matter in climate change discourses. Climate Policy, 7(1), 73-88.

Quintana, J.M. and P. Aceituno, 2012: Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of south america (chile): 30-43° S. *Atmósfera*, 25(1), 1-12.

Stöckle, C.O., S. Martin, G.S. Campbell. 1994. CropSyst, a cropping systems model: water/nitrogen budgets and crop yield. *Agricultural Systems* 46 (1994), pp. 335–359

Vergara, W, A. Deeb, I. Leino, A. Kitoh and M. Escobar. 2011. Assessment of the Impacts of Climate Change on Mountain Hydrology: Development of a Methodology Through a Case Study in the Andes of Peru, World Bank Publications, 180 pages, ISBN:978-0-8213-8662-0

Vicuña, S., R.D. Garreaud and J. McPhee. 2011. Climate change impacts on the hydrology of a snowmelt driven basin in semiarid Chile. *Climatic Change* 105: 469-488.

Vicuña, S., J. McPhee and R.D. Garreaud. 2012. Agriculture Vulnerability to Climate Change in a Snowmelt Driven Basin in Semiarid Chile. *Journal of Water Resources Planning and Management*. doi: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000202

Waage, M.D., and L. Kaatz. 2011. Nonstationary water planning: an overview of several promising planning methods 1. *Journal of the American Water Resources Association* 47(3): 535-540.

Wise, R.M., I. Fazey, M. Stafford Smith, S.E. Park, H.C. Eakin, E.R.M. Archer Van Garderen, B. Campbell, Reconceptualising adaptation to climate change as part of pathways of change and response, *Global Environmental Change*, Volume 28, September 2014, Pages 325-336.

Wood, A.W., L. R. Leung, V. Sridhar and D. P. Lettenmaier. 2004. Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs. *Climatic Change*, 62, 189–216.

Yates, D., M. Iwra, and Institute-boston, S. E. 2005a. WEAP21 – A Demand- , Priority- , and Preference-Driven Water Planning Model Part 1 : Model Characteristics. *Water* 30(4), 487-500.

Yates, D., M. Iwra, and Institute-Boston, S. E. 2005b. Planning Model Part 2 : Aiding Freshwater Ecosystem Service Evaluation. *Water* 30(4): 501-512.