

SEMINARIOS Y CONFERENCIAS

La incertidumbre de los recursos hídricos y sus riesgos frente al cambio climático

Herramientas para los tomadores de decisiones
de los sectores público y privado



NACIONES UNIDAS

CEPAL



cooperación
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

SEMINARIOS Y CONFERENCIAS

La incertidumbre de los recursos hídricos y sus riesgos frente al cambio climático

Herramientas para los tomadores de decisiones
de los sectores público y privado



NACIONES UNIDAS



cooperación
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Este documento reúne cuatro trabajos presentados en el seminario “Recursos hídricos bajo incertidumbre y riesgo al cambio climático: herramientas para los tomadores de decisiones de los sectores público y privado”, realizado en la sede de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) en Santiago el 29 y 30 de octubre de 2014. El seminario fue organizado de forma conjunta por el Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo (CIID) del Canadá, el Programa CEPAL-BMZ/GIZ, la Cámara de Comercio Internacional (CCI) y la CEPAL y se llevó a cabo en el marco de las actividades de los proyectos CEPAL/IDRC “Recursos hídricos y riesgos climáticos: herramientas para los tomadores de decisiones” (IDR/14/003) y CEPAL/BMZ-GIZ “Reforma fiscal ambiental” (GER/14/004). Tres de los documentos que aquí figuran fueron elaborados como parte de las actividades del proyecto ejecutado por la CEPAL y financiado por el IDRC (IDR/14/003) y uno fue elaborado por la CEPAL como resumen del seminario. La compilación estuvo a cargo de Luis Miguel Galindo, Jefe de la Unidad de Economía del Cambio Climático, División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la CEPAL.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la CEPAL, el CIID, la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ) o el CCI.

Publicación de las Naciones Unidas

ISSN 1680-9033

LC/L.4030

Copyright © Naciones Unidas, mayo de 2015. Todos los derechos reservados

Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile

S.15-00538

Los Estados miembros y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a las Naciones Unidas de tal reproducción.

Índice

Resumen	7
I. Recursos hídricos y riesgos climáticos: lineamientos para tomadores de decisión del sector público y privado	9
A. Introducción	9
B. Desarrollo sostenible, cambio climático y administración de riesgos: una visión general	10
C. Adaptación, administración de riesgos y recursos hídricos.....	15
D. Debate sobre cambio climático, recursos hídricos y administración de riesgos	17
1. La ciencia del clima: proyecciones simulaciones e incertidumbre	17
2. Los impactos del cambio climático, los recursos hídricos y la administración del riesgo	18
3. Políticas públicas, cambio climático y administración de riesgos	18
4. Instrumentos económicos, recursos hídricos y administración de riesgos	19
E. Comentarios generales	19
Bibliografía	20
II. Los recursos hídricos de las Américas en los nuevos escenarios climáticos: la visión desde el proyecto VACEA	23
A. Introducción	23
B. El calentamiento global puede llevar al clima mundial a situaciones inesperadas	24
C. Los ciclos del clima en Chile	24
D. Las tendencias que ha mostrado el clima en las últimas décadas.....	24
E. ¿Cuánta agua hay en Chile?	26
F. Agricultura e infraestructura hidráulica	30
G. Los cambios climáticos y las tareas de futuro.....	31
H. Los aportes del proyecto VACEA para superar la crisis del agua	31
1. Evaluación de impactos potenciales del cambio climático	31
2. Optimización de la producción por unidad de agua.....	32
3. Evaluación de los <i>hotspots</i> de amenazas a la conservación de la biodiversidad.....	32
4. Análisis de la variabilidad en la oferta de agua.....	32

5.	Vulnerabilidad de los sistemas agrarios.....	32
6.	Plataforma de información para hacer una gestión climáticamente inteligente de las políticas públicas.....	33
	Bibliografía	33
III.	Gestión y valoración de riesgos climáticos a escala de cuenca: propuestas desde la cuenca del río Vergara. Chile.....	35
A.	Introducción	35
B.	Caso de estudio	36
1.	Caracterización.....	36
2.	Resultados	38
C.	Instrumentos de gestión del riesgo y sus limitaciones	43
D.	Propuesta.....	45
	Bibliografía	46
	Anexo.....	47
IV.	Instrumentos económicos para la adaptación a la variabilidad y el cambio climático en los sistemas urbanos de agua.....	49
A.	Introducción: cambio climático y riesgo de suministro de agua en contexto urbano.....	49
B.	Caso de estudio: suministro de agua potable en Santiago de Chile	51
1.	Suministro de agua en Chile: el sistema tarifario y su relación con el costo de las medidas	51
2.	Suministro de agua en la ciudad de Santiago y posibles impactos del cambio climático	56
3.	Riesgo de suministro de agua potable en Santiago de Chile	57
C.	Instrumentos económicos para reducir el riesgo: los contratos de opción	61
1.	Introducción a los contratos de opción como herramientas económicas para la gestión del riesgo hidrológico	61
2.	Los contratos de opción	61
D.	Conclusiones y recomendaciones políticas	64
	Bibliografía	65
	Serie Seminarios y Conferencias: números publicados.....	67
Cuadros		
Cuadro 1	Probabilidad (en porcentaje) de superar un aumento de la temperatura a nivel del equilibrio de estabilización.....	14
Cuadro 2	Agua aportada por las precipitaciones (PP), caudal afluente (Qa) y sobrantes (Qs) en algunas cuencas	27
Cuadro 3	Uso de los recursos de agua superficial por la agricultura entre Atacama y Biobío.....	28
Cuadro 4	Relación entre la capacidad de regulación y las demandas de agua	28
Cuadro 5	Temperatura y precipitación promedio	37
Cuadro 6	Cambio climático: cambios en temperatura y precipitación promedio (porcentaje)	39
Cuadro 7	Vulnerabilidad según eventos extremos	42
Cuadro 8	Vulnerabilidad según sistemas en riesgo.....	43
Cuadro 9	Instrumentos de gestión de riesgo	44
Gráficos		
Gráfico 1	PIB <i>per cápita</i> , América Latina y el Caribe: 1980-2013.....	11
Gráfico 2	América Latina (ciudades seleccionadas): concentraciones de PM10 y PM2.5, 2011	12
Gráfico 3	América Latina: perfil de la vulnerabilidad de ingresos por país, alrededor de 2010	13
Gráfico 4	América Latina: proporción de ocupados sobre total de personas en el hogar por categoría de vulnerabilidad, alrededor del 2010	14
Gráfico 5	Tendencia de la precipitación durante el siglo XX en la costa chilena	25
Gráfico 6	Serie histórica del número de días de lluvia de Valparaíso. Período 1920-1986.....	25

Gráfico 7	Tendencia al aumento de la aridez de los climas del norte y centro del país	26
Gráfico 8	Relación entre la oferta y demanda de agua en el valle del río Aconcagua.....	27
Gráfico 9	Tendencia del agua almacenada en los embalses de la región de Coquimbo en los últimos años	28
Gráfico 10	Balance entre la demanda y la oferta de aguas superficiales para riego por región	29
Gráfico 11	Caudales máximos y mínimos.....	38
Gráfico 12	Fijación de tarifas para los operadores de servicios sanitarios	53
Gráfico 13	Esquema teórico de demanda por seguridad hídrica en la ciudad de Santiago.....	58
Gráfico 14	Establecimiento de tarifas en situación normal (a) y ante evento de fuerza mayor (b)	59
Gráfico 15	Disposiciones a pagar (DAP) por distintos usuarios del agua	60
Gráfico 16	Representación gráfica del objetivo de reducción de costos de las medidas de adaptación urbanas	60
Gráfico 17	Oferta y demanda de contratos de opción	64

Diagramas

Diagrama 1	Crecimiento y evolución del sector sanitario chileno	52
Diagrama 2	Etapas del proceso técnico de tarificación en base a la empresa modelo	54
Diagrama 3	Etapas del proceso de fijación de tarifas definitivas.....	55
Diagrama 4	Análisis de la pertinencia del contrato de opción	63

Mapas

Mapa 1	Localización comunidades vulnerables	42
Mapa A.1	Localización cuenca río Vergara	48
Mapa A.2	Principales tributarios cuenca.....	48
Mapa 2	Sector sanitario chileno	51
Mapa 3	Cuenca del río Maipo y sus usuarios de recursos hídricos	56

Resumen

El cambio climático es uno de los grandes temas en la agenda del siglo XXI. Tal vez el principal canal de transmisión de los impactos del cambio climático sobre las actividades económicas y humanas es a través de la disponibilidad de los recursos hídricos. Reconociendo la necesidad de generar políticas que permitan gestionar los riesgos que imponen las nuevas condiciones climáticas sobre los recursos hídricos desde los sectores público y privado, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en conjunto con el International Development Research Centre (IDRC) de Canadá, el Programa CEPAL-BMZ/GIZ y la Cámara Internacional de Comercio (ICC), organizó los días 29 y 30 de octubre el Seminario “Recursos hídricos bajo incertidumbre y riesgo al cambio climático: herramientas para los tomadores de decisión del sectores público y privado” donde se expusieron y debatieron distintas propuestas de análisis e instrumentos económicos para la gestión del riesgo en el sector hídrico frente al cambio climático.

El seminario ofreció la oportunidad para el intercambio de propuestas y experiencias desde diversas ópticas, ya que se fomentó el diálogo entre funcionarios de gobierno, empresarios y académicos de distintos países de dentro y fuera la región. Las diversas sesiones hicieron patente la riqueza de enfoques y mostraron, además, la paradoja de que el mayor conocimiento del tema también induce nuevas interrogantes y debates. Más aún, la creciente necesidad de instrumentar acciones prácticas de adaptación al cambio climático intensifica las discusiones y los matices que tienen claramente consecuencias de política pública. Estas discusiones aportaron ideas innovadoras sobre gestión de riesgo hídrico en ciudades, zonas rurales y además mostraron la importancia de incorporar enfoques multi-sectoriales en estos procesos de adaptación y el reconocimiento a que es indispensable avanzar en la toma de decisiones con información relevante pero aún limitada. Ello pone de manifiesto la importancia de profundizar los esfuerzos de investigación en estos temas con un sentido de aplicación para la toma de decisiones tanto de política pública como del sector privado.

De este modo, en este documento, que reúne cuatro de los trabajos discutidos en el seminario, busca impulsar esta agenda de adaptación al cambio climático del sector hídrico considerando una gestión de riesgos apropiada.

I. Recursos hídricos y riesgos climáticos: lineamientos para tomadores de decisión del sector público y privado

*Luis Miguel Galindo, Joseluis Samaniego, José Eduardo Alatorre,
Orlando Reyes, Jimmy Ferrer, y José Javier Gómez¹*

*“We all have to make decisions with limited data”
Peter Bernstein, *Against the Gods* (pp. 73).*

A. Introducción

El cambio climático es uno de los grandes desafíos del siglo XXI atendiendo a sus causas y consecuencias globales. En efecto, el cambio climático puede entenderse como la consecuencia de una externalidad negativa global donde el conjunto de las actividades económicas emiten, sin costo económico alguno, diversos gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera (Stern, 2007). Estas concentraciones de GEI ocasiona el cambio climático que se manifiesta fundamentalmente en un alza de la temperatura promedio, en modificaciones en los patrones de precipitación, una reducción de la criósfera y una alza del nivel del mar y en cambios en los patrones de eventos climáticos extremos. El conjunto de estas modificaciones climáticas tiene consecuencias sobre las actividades económicas, el bienestar de la población y los ecosistemas (IPCC, 2014).

La evidencia disponible sugiere además que los recursos hídricos son particularmente sensibles al cambio climático (IPCC, 2008; 2014). Esto es, los cambios en los patrones de precipitación, los eventos climáticos extremos, el alza de la temperatura global e incluso la reducción de la criósfera,

¹ Miembros de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos (DDSAH) de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

especialmente los glaciares, y el alza del nivel del mar ocasionan modificaciones en la oferta y la demanda de agua. Atendiendo a que el recurso hídrico es un elemento esencial para la vida humana y del conjunto de los ecosistemas y es también un insumo fundamental en las actividades agropecuarias, la industria y los servicios, entonces estas modificaciones de la oferta y la demanda de agua tienen consecuencias colaterales significativas sobre las actividades agropecuarias, los ecosistemas y el bienestar y salud de la población.

En este sentido, los efectos del cambio climático representan un riesgo importante para los ecosistemas y las sociedades; un riesgo que debe administrarse apropiadamente a través del uso de diversos instrumentos económicos, regulaciones o la construcción de infraestructura. La instrumentación de estas políticas públicas requiere una acción colectiva donde los tomadores de decisión y aquellos agentes involucrados respondan y manejen apropiadamente estos riesgos.

De este modo, el proyecto realizado por el International Development Research Centre (IDRC) “*Welfare and Economic Evaluation of Climatic Change Impacts on Water Resources at River Basin Scale*” (EEC2 Water Project) en conjunto con el seminario organizado con CEPAL sobre “*Recursos hídricos incertidumbre y riesgo frente al cambio climático: Herramientas para los tomadores de decisión del sector público y privado*” buscan discutir y difundir estos temas. En particular, este proyecto tuvo como objetivo general identificar los impactos económicos de modificaciones en la disponibilidad hídrica como consecuencia del cambio climático en Chile y considerar opciones de política pública que promuevan una adaptación eficiente y una apropiada administración de riesgos al cambio climático.

En este documento consiste de 4 secciones. En la primera sección, se reporta un conjunto de reflexiones derivadas de la discusión del seminario “*Recursos hídricos bajo incertidumbre y riesgo al cambio climático: herramientas para los tomadores de decisión del sector público y privado*” en CEPAL donde participaron el International Development Research Centre (IDRC), el Programa CEPAL-BMZ/GIZ, la Cámara Internacional de Comercio (ICC) y la CEPAL. Las secciones 2, 3 y 4 corresponden a los trabajos de investigación realizados: Los recursos hídricos de las Américas en los nuevos escenarios climáticos: La visión desde el proyecto VACEA; Gestión y Valoración de Riesgos Climáticos a Escala de cuenca: Propuestas desde la cuenca del Río Vergara, Chile; e Instrumentos económicos para la adaptación a la variabilidad y el cambio climático en los sistemas urbanos de agua.

B. Desarrollo sostenible, cambio climático y administración de riesgos: una visión general

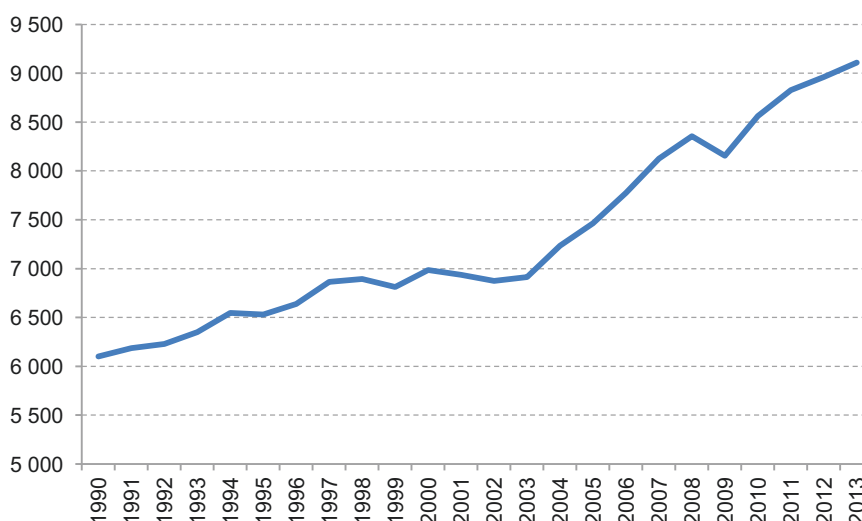
El cambio climático con sus causas y consecuencias globales es uno de los grandes desafíos del siglo XXI. En efecto, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) están ocasionando modificaciones climáticas relevantes tales como un alza de la temperatura media global, modificaciones en los patrones de precipitación, reducción de la criósfera y alza del nivel del mar y cambios en los patrones de eventos climáticos extremos (IPCC, 2013). Todo ello con consecuencias significativas sobre las actividades económicas, el bienestar de la población y los ecosistemas (Stern, 2007).

De este modo, América Latina y el Caribe deberán, para alcanzar un desarrollo sostenible durante la primera parte de este siglo, administrar apropiadamente diversos riesgos asociados al cambio climático. Riesgos que relacionan los niveles de emisiones de GEI con cierta probabilidad de ocurrencia de fenómenos climáticos y deben en todo caso ponderarse ante sus potenciales consecuencias y en donde destacan:

- Riesgo del crecimiento económico. El ritmo de crecimiento actual de América Latina y el Caribe muestra un mayor dinamismo en los últimos años. La tasa de crecimiento del PIB *per cápita* fue de 1,86% para el periodo 2000-2013. Sin embargo, ello presenta algunos riesgos. Esto es, las tendencias de las economías de América Latina y el Caribe no sugieren que el alto ritmo de crecimiento económico sea sostenible en el largo plazo (véase el gráfico 1). Asimismo, el proceso de crecimiento reciente en América Latina y el Caribe ha estado asociado a un “*boom*” exportador de materias primas que ha estado acompañado de cierto proceso de “*primarización de las economías*”. El ritmo de explotación y uso de los recursos

naturales, en particular de los recursos naturales no renovables, plantean el riesgo de su sostenibilidad en el largo plazo. Ello debido a los riesgos sobre la disponibilidad futura de recursos, la continuidad de altos precios de las materias primas y las consecuencias de la dinámica económica y social del proceso de primarización económica. En este contexto, resulta fundamental considerar las consecuencias en el largo plazo sobre la continuidad del ritmo de crecimiento económico y el uso sostenible de los recursos naturales y las consecuencias de la primarización de las economías de América Latina con sus consecuentes niveles de emisiones de GEI y de posibles shocks macroeconómicos.

Gráfico 1
PIB per cápita, América Latina y el Caribe: 1980-2013^a

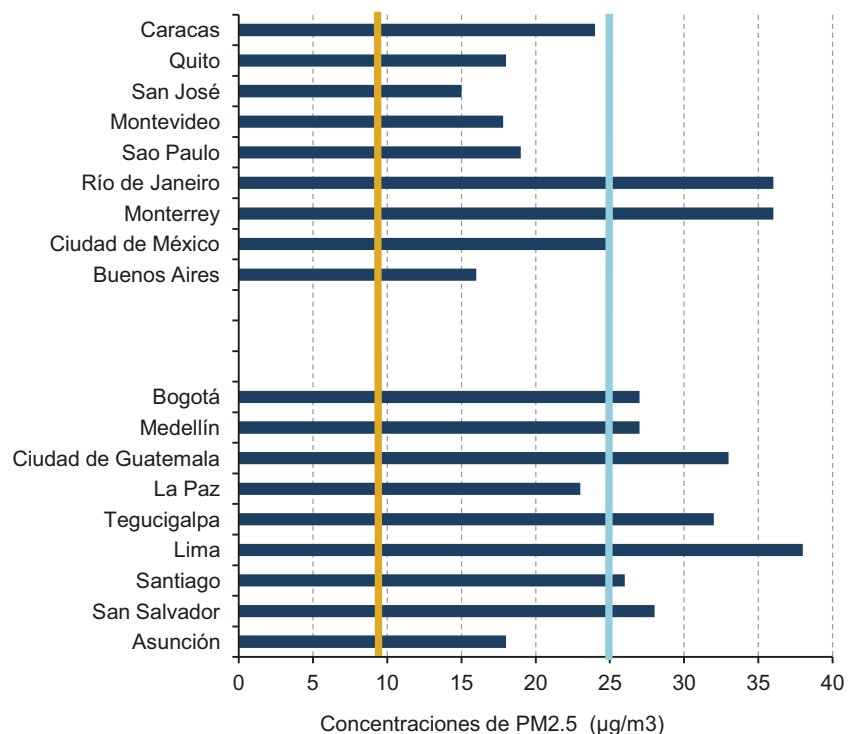
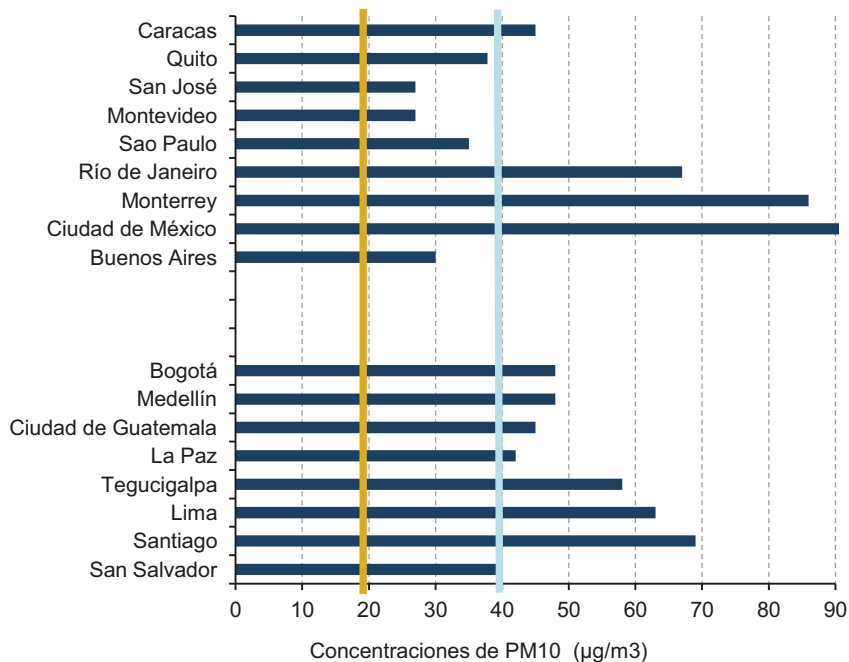


Fuente: Elaboración propia con base en información estadística de World Bank (*World Development Indicators*).

^a Producto Interno Bruto (PIB) per cápita constantes a precios de 2010.

- Riesgos colaterales del crecimiento económico. La evidencia internacional disponible muestra además que el estilo de crecimiento económico actual en América Latina y el Caribe está ocasionando una compleja matriz de externalidades negativas que están incluso erosionando el actual dinamismo económico. Por ejemplo, es posible observar que actualmente el rápido crecimiento económico ha estado acompañado de un aumento substancial de la flota vehicular y del consumo de gasolinas que están ocasionando altos niveles de contaminación atmosférica en las zonas urbanas en América Latina. De este modo, se observa que actualmente los niveles de contaminación ambiental en la mayoría de las ciudades en América Latina están por arriba de la norma de salud aceptada (véase el gráfico 2).

Gráfico 2
América Latina (ciudades seleccionadas): concentraciones de PM10 y PM2.5, 2011^a
(En microgramos por metro cúbico)

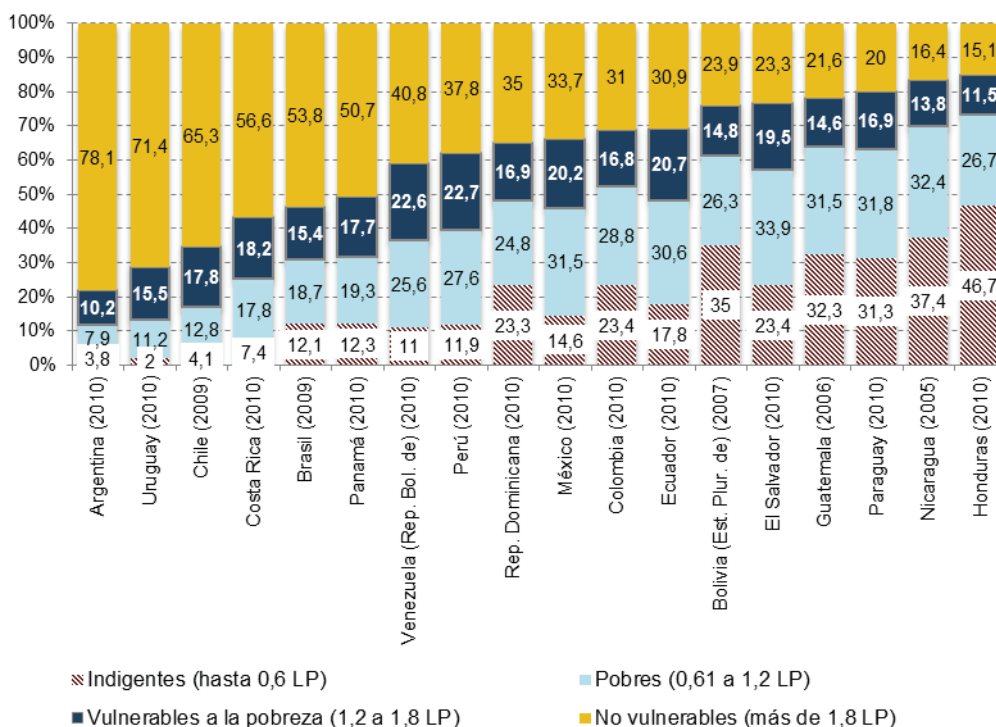


Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), a partir de la *Ambient Air Pollution Database*, World Health Organization (WHO), Mayo 2014.

^a Los datos de las concentraciones de La Paz, Río de Janeiro, Copenhague, corresponden al 2010; los de San Salvador, Santiago, Lima, Ciudad de México, Monterrey, San José, Caracas, Berlín, Bruselas, París, Roma, Ámsterdam, Varsovia, Lisboa, Londres, Madrid, Praga, Estocolmo, Dublín, Bucarest y Viena al 2011; los de Ciudad de Guatemala, Bogotá, Buenos Aires, Sao Paulo, Montevideo y Quito a 2012; y los de Tegucigalpa al 2013.

- Riesgo de las condiciones sociales. América Latina y el Caribe muestra, asociado al ritmo de crecimiento económico reciente, una disminución de la pobreza. Sin embargo, una proporción importante de la población continúan con una alta vulnerabilidad. Por ejemplo, una parte significativa de la población tienen un nivel de ingreso solo 1,8 superior a la línea de pobreza (véase el gráfico 3) y en los estratos de ingreso bajos se observa que la proporción de ocupados sobre el total de personas en el hogar es más bajo (véase el gráfico 4). Ello hace que la población sea particularmente vulnerable a cualquier tipo de *shock* tanto económico o de eventos climáticos extremos. Existe además el riesgo de que en los próximos años se presenten tendencias a la concentración en la distribución del ingreso en América Latina que dificultarían los objetivos sociales. En este contexto, América Latina deberá reducir la vulnerabilidad de su población, desarrollando un sistema de protección social más universal e incidir sobre las tendencias en la distribución del ingreso.

Gráfico 3
América Latina: perfil de la vulnerabilidad de ingresos por país, alrededor de 2010
 (En porcentajes)

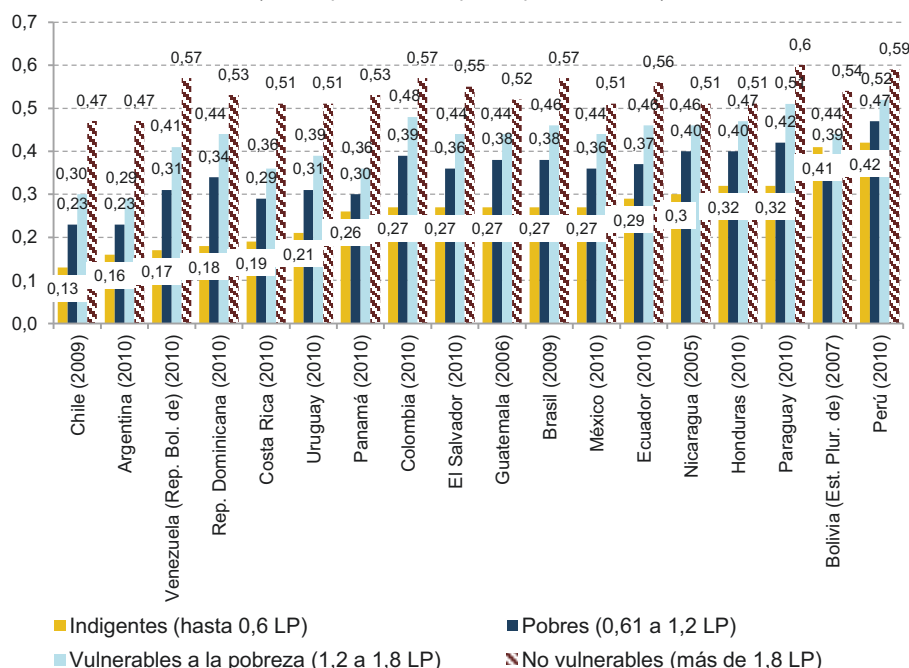


Fuente: Cecchini, S., E. Espíndola, F. Filgueira, D. Hernández y R. Martínez (2012), Vulnerabilidad de la estructura social en América Latina: medición y políticas públicas, *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 3(2). 32-45.

- El cambio climático. La evidencia disponible indica que las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) han aumentado de aproximadamente 280 partes por millón (ppm) de CO₂ equivalente (CO₂ eq) para el periodo previo a la revolución industrial a 394 ppm en 2012 (IPCC, 2007a; Tans y Keeling, 2013). La tendencia actual se encuentra apenas por debajo del escenario pesimista (A1F1²) elaborado por el IPCC (Nakićenović y Robert Swart, 2000), que proyecta un aumento en la temperatura promedio en el rango de entre 2,4°C y 6,4°C para finales de este siglo.

² El escenario A1F1 considera la utilización intensiva de combustibles fósiles.

Gráfico 4
América Latina: proporción de ocupados sobre total de personas en el hogar
por categoría de vulnerabilidad, alrededor del 2010
(Razón personas ocupadas/población total)



Fuente: Cecchini, S., E. Espíndola, F. Filgueira, D. Hernández y R. Martínez (2012), Vulnerabilidad de la estructura social en América Latina: medición y políticas públicas, *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 3(2). 32-45.

Así, el consenso científico sugiere que, con un alto grado de incertidumbre, en el caso en que las GEI en la atmósfera alcancen las 450 ppm, ello conllevaría, con un 80% de probabilidad, a un aumento de la temperatura global promedio de 2°C en relación con los niveles prevaletentes en la era pre industrial. Asimismo, un aumento de 3°C de temperatura es consistente, con un 70% de probabilidad, con un nivel de emisiones de 550 ppm (véase el cuadro 1).

Cuadro 1
Probabilidad (en porcentaje) de superar un aumento de la temperatura
a nivel del equilibrio de estabilización

Nivel de estabilización (en ppm de CO ₂ eq)	2°C	3°C	4°C	5°C	6°C	7°C
450	78	18	3	1	0	0
500	96	44	11	3	1	0
550	99	69	24	7	2	1
650	100	94	58	24	9	4
750	100	99	82	47	22	9

Fuente: Stern, N. (2008), *The Economics of Climate Change*, *American Economic Review*, 98(2), 1-37.

Para estabilizar las condiciones climáticas es, por tanto, indispensable controlar el flujo de emisiones de GEI en el mediano y largo plazo³. Actualmente el flujo de GEI se encuentra un poco abajo de las 50 gigatoneladas (Gt) al año⁴, que con una población mundial de aproximadamente 7 mil millones de personas

³ Existe una interrelación compleja entre el flujo de emisiones de GEI y sus las concentraciones (stock) en la atmósfera.

⁴ <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=GHGts1990-2010>.

implican un nivel de emisiones *per cápita* de alrededor de 7 toneladas de CO₂ por habitante. El consenso científico señala que alcanzar el objetivo de estabilizar el aumento de temperatura a máximo 2°C⁵ requiere que el flujo de GEI se reduzca a alrededor de 20 Gt en 2050, que, considerando un escenario poblacional de alrededor de 9 mil millones de personas para ese año (UN, 2004), significa un objetivo de reducción hacia 2 toneladas *per cápita* al 2050. Por tanto, el desafío climático se resume en la idea de transitar de un poco menos de 7 toneladas a 2 toneladas de CO₂ en términos *per cápita* dentro los próximos cuarenta años (Hepburn y Stern, 2008). Transitar hacia dicha senda requiere transformaciones sustanciales de los actuales patrones de producción, consumo y distribución, así como un cambio fundamental en los patrones de vida (CEPAL, 2010; IEA, 2012); en particular, es esencial un proceso robusto de desacoplamiento entre el ingreso, el consumo de energía y las emisiones (CEPAL, 2010). Es importante notar que en 2050 la mayor parte de la población estará concentrada en los actuales países emergentes; ello indica la necesidad de un esfuerzo global de mitigación (Metcalf, 2005; Stern, 2007).

Desafortunadamente, los resultados de las recientes negociaciones internacionales y las principales tendencias económicas y sociales sugieren que es poco probable el alcanzar un acuerdo global en el futuro cercano, asimismo, los compromisos no vinculantes asumidos por los países no son suficientes para alcanzar la reducción necesaria de GEI para alcanzar el objetivo a 2050 (UNEP, 2012). En este sentido, la trayectoria actual de emisiones de GEI, la brecha entre los compromisos de mitigación y la meta requerida, la falta de perspectiva de un acuerdo global vinculante y la inercia actual del ajuste entre el flujo y el *stock* de emisiones, hacen inevitable reconocer que es altamente probable el fenómeno del cambio climático durante este siglo. En este sentido, resulta fundamental que los países de América Latina incluyan en sus estrategias de desarrollo sostenible procesos de adaptación al cambio climático.

De este modo, América Latina deberá administrar apropiadamente los cuatro riesgos mencionados. Para ello, es necesario:

- Desarrollar una estrategia que permita hacer sostenible el crecimiento económico.
- Desacoplar de la trayectoria del ingreso al consumo de energía y otros insumos cuyo uso es insostenible en el largo plazo, construyendo además, una matriz energética apropiada y eliminar o controlar el conjunto de las externalidades negativas.
- Reducir la vulnerabilidad a través de la conformación de una red de protección social que disminuya la vulnerabilidad.
- Avanzar en los procesos de adaptación al cambio climático incluyendo procesos de adaptación sectoriales y regionales y alcanzar metas de mitigación que estabilicen las condiciones climáticas.

C. Adaptación, administración de riesgos y recursos hídricos

El agua es un elemento esencial para la vida y los ecosistemas y es también un insumo fundamental para las actividades agropecuarias, industriales y de servicios y en donde se observa que el cambio climático tiene diversos impactos sobre la disponibilidad hídrica (IPCC, 2008; 2014). Por ejemplo, el aumento de la temperatura media global, a la modificación de los patrones de precipitación, los eventos climáticos extremos, la reducción de la criósfera e incluso el alza del nivel del mar inciden tanto en la oferta como en la demanda de agua. Estas modificaciones en la oferta y demanda de agua que en el peor de los casos pueden implicar una reducción de la oferta en un contexto de rápida expansión de la demanda de agua, tienen consecuencias sobre las diversas actividades económicas, las condiciones sociales y los ecosistemas y representa sin duda uno de los grandes riesgos a enfrentar durante el siglo XXI (Stern, 2007). Estos impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos son heterogéneos y difíciles de identificar, en especial con un nivel geográfico que permita proponer

⁵ Por encima de 2°C se considera cambio climático peligroso.

paquetes de política pública específicos. De este modo, resulta relevante identificar con una mayor precisión los impactos del cambio climático y sus efectos en la oferta y demanda de agua y sobre el conjunto de las actividades económicas para poder derivar propuestas de política pública.

La evidencia disponible muestra, sin embargo, que persiste en todos los casos un componente de incertidumbre importante inherente al conformar proyecciones climáticas y sus potenciales impactos a lo largo de este siglo. No obstante ello, esta incertidumbre puede ser cuantificada y acotada lo que deriva en la necesidad de administrar el riesgo (Embrechts, *et al.*, 1997; Bernstein, 1998). Esto es, el riesgo representa, de forma muy general, la incertidumbre sobre la ocurrencia de algún fenómeno lo que deriva en asociar al concepto de riesgo a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno específico y su dispersión (Coles, 2001; Mun, 2006; Rejda, 2007). Ello permite dimensionar la relación que se establece entre el cambio climático y la exposición y el manejo del riesgo. Esto es, el cambio climático con sus efectos potenciales y que tiene cierta probabilidad de ocurrencia sobre los recursos hídricos implica la necesidad de administrar ese riesgo. Por ejemplo, en cambio climático existe la baja probabilidad de ocurrencia de algún evento climático catastrófico o con impactos irreversibles o la posibilidad de eventos como sequías o inundaciones con una mayor probabilidad de ocurrencia. En este contexto, existen diversas herramientas para controlar el riesgo a través de evitarlo, prevenirlo o reducirlo que corresponden por lo general a la aplicación de diversas estrategias de políticas públicas (Rejda, 2007; Kirch, *et al.*, 2005). Ello no está exento de insuficiencias, por ejemplo, existen efectos de asimetrías de información, distintos niveles de vulnerabilidad, sesgos en la apreciación del riesgo, del tiempo involucrado en la operación o incluso el problema de información conocido como *Moral Hazard* (o riesgo moral) donde el agente económico es indiferente a una pérdida porque tiene una forma de compensarla (Rejda, 2007) que llevan a que la construcción de una estrategia de riesgos al cambio climático sea especialmente compleja.

Atendiendo a las proyecciones climáticas que sugieren una muy alta probabilidad de ocurrencia de un aumento de 2°C de temperatura media global entonces este proceso de administración implica, con una alta prioridad, la instrumentación de procesos de adaptación en el sector hídrico. Sin embargo, estos procesos de adaptación son también particularmente complejos. En efecto, un proceso de adaptación⁶, en el sentido amplio, incluye cualquier ajuste deliberado en respuesta a las nuevas condiciones climáticas, sean estas reales o esperadas (IPCC, 2007b; Agrawala y Fankhauser, 2008). Estos procesos de adaptación son normalmente consecuencia de los cambios en la conducta de los agentes que se originan por diferentes factores como las políticas públicas, los incentivos económicos o las características individuales específicas (Artikov, *et al.*, 2006; Knowler y Bradshaw, 2007; Prokopy, *et al.*, 2008; OECD, 2012).

Existen por tanto ya diversas acciones de adaptación tanto a la variabilidad climática como al cambio climático que pueden reducir y amortiguar los impactos negativos del cambio pero que también pueden tener efectos o costos residuales, algunos de ellos irreversibles, más aún, cualquier medida de adaptación enfrenta importantes limitaciones e ineficiencias, barreras técnicas y económicas climático (Hepburn y Stern, 2008; Agrawala y Fankhauser, 2008). Asimismo, algunos procesos de adaptación espontánea, sin información adecuada, están sujetos a un sesgo de ineficiencia; por ejemplo, en el caso en que el cambio permanente en la temperatura media conlleve a ajustes que se consideran temporales sobre la explotación de los recursos hídricos buscando compensar el aumento de la temperatura con una sobreexplotación de los recursos hídricos (Easterling, *et al.*, 1993; Rosenzweig y Parry, 1994; Fankhauser, 1995; Darwin y otros, 1995; Bosello, *et al.*, 2010).

En este sentido, es importante identificar con mayor precisión las causas y efectos asociados a cada proceso de adaptación identificando aquellas medidas que resulten costo efectivas en sectores específicos como el sector hídrico reconociendo el factor de incertidumbre (Agrawala y Fankhauser, 2008; World Bank, 2010a, 2010b).

⁶ La parte de adaptación en esta sección se basa en Galindo, *et al.* (2014).

D. Debate sobre cambio climático, recursos hídricos y administración de riesgos

Las presentaciones y los debates el seminario sobre *Recursos hídricos incertidumbre y riesgo frente al cambio climático: Herramientas para los tomadores de decisión del sector público y privado* realizado en CEPAL, en conjunto con el International Development Research Centre (IDRC), el Programa CEPAL-BMZ/GIZ y la Cámara Internacional de Comercio (ICC), permitieron identificar varias líneas estratégicas en estos procesos de adaptación y administración de riesgos en el sector hídrico donde, paradójicamente, el avance en la investigación abre nuevos debates y desafíos. Dentro de estos temas destacan:

1. La ciencia del clima: proyecciones simulaciones e incertidumbre

- Los estudios específicos geo-referenciados sobre los efectos de largo plazo del cambio climático sobre los recursos hídricos requieren proyecciones del clima específicas donde persiste una gran incertidumbre. Esto es, las proyecciones climáticas que contienen ya una importante incertidumbre son insuficientes para identificar impactos regionales. Sin embargo, las proyecciones regionales específicas son aún más inciertas y con un mayor grado de incertidumbre. En este sentido, los análisis de los impactos económicos y sociales regionales del cambio climático deben de incorporar sistemáticamente el alto nivel de incertidumbre que existe y a la gestión del riesgo como un elemento consustancial. En este sentido, debe transitarse del actual paradigma del “El arca de Noé” (información perfecta e infraestructura eficiente para salvar a la humanidad y a la biodiversidad) a un nuevo paradigma donde la incertidumbre tiene un papel fundamental.
- Al mismo tiempo se observa que los modelos climáticos son más precisos a nivel agregado pero es necesario avanzar hacia información más detallada como insumo para decisiones políticas públicas y de negocios. Una opción es considerar, como una primera aproximación regional a los impactos del cambio climático, a los efectos económicos y sociales que tienen actualmente la variabilidad climática. Ello sin embargo es insuficiente atendiendo a que el cambio climático implica el desplazamiento de toda la distribución de probabilidades del clima.
- Debe además considerarse que la identificación de los impactos climáticos regionales sobre los recursos hídricos es complejo en la medida en que estos efectos se dan en un entorno social y económico específico que induce también efectos sobre estos recursos hídricos. Por ejemplo, una menor disponibilidad de agua por una baja en las precipitaciones puede acontecer en un contexto donde existe una mayor variabilidad climática, existen problemas de acceso al agua, sobre todo para la población vulnerable; gestión ineficiente y pérdidas; y existe un deterioro creciente de la calidad del agua por presencia de contaminantes. Todo ello acentúa los riesgos del cambio climático y dificulta su identificación estricta en referencia a los otros factores que inciden también sobre el recurso hídrico.

Estos debates plantean la importancia de disponer de proyecciones climáticas regionales y de considerar sus limitaciones y el nivel de incertidumbre que conllevan. Asimismo, muestra las dificultades para identificar apropiadamente los efectos del cambio climático de los efectos derivados de otros factores socioeconómicos y por tanto la relevancia de construir líneas base apropiadas. La incertidumbre sobre las proyecciones climáticas debe traducirse en propuestas de política pública que contemplen una administración del riesgo apropiada que sean factibles dentro de ciertos rangos climáticos y flexibles en su ejecución. Por ejemplo, los procesos de adaptación deben ser flexibles; esto es, buscar adaptarse a un rango razonable de condiciones posibles, empezando por las condiciones climáticas actuales y su variabilidad.

2. Los impactos del cambio climático, los recursos hídricos y la administración del riesgo

- El agua es un tema transversal, con dimensiones sociales, económicas, productivas, territoriales y ambientales, que involucra a numerosos actores y tiene gradualidad en el tiempo. Ello constituye un desafío para el diseño de políticas públicas apropiadas. Por ejemplo, existen dificultades para aplicar políticas públicas regionales en cuencas específicas que no corresponden a una demarcación institucional.
- Los matices en los impactos del cambio climático resultan relevantes para identificar apropiadamente sus consecuencias y las políticas públicas a instrumentar. Por ejemplo, es posible que el cambio climático no conlleve a un descenso de la producción agrícola total sino que afecte a las tasas de aumento de la productividad, ello con diferencias regionales y por tipo de unidad productiva que refleja diversos grados de vulnerabilidad.

3. Políticas públicas, cambio climático y administración de riesgos⁷

- Existe mucha información sobre los impactos y los procesos de adaptación al cambio climático, sin embargo, esta información se encuentra fragmentada, es difícil interpretarla para propósitos de política pública y contiene un alto nivel de incertidumbre. Todo ello dificulta fundamentar las políticas públicas o decisiones de negocios en este conjunto de información. Resulta por tanto necesario configurar una mejor interface entre la investigación académica y las políticas públicas y las decisiones de negocios. Desafíos en este ámbito incluyen: fragmentación de actores, incerteza jurídica, el alto costo inicial de nuevas tecnologías y cómo diseñar proyectos de adaptación que puedan garantizar un retorno de inversión.
- Una de las paradojas del cambio climático es que se trata de un fenómeno de largo plazo pero que requiere procesos de adaptación actuales y urgentes. Sin embargo, la instrumentación de proceso de adaptación con visión de largo plazo tiene varias complejidades en donde destacan:
 - Los procesos de adaptación deben ser negociadas con diferentes *stakeholders* lo que dificulta su instrumentación. Queda entonces por avanzar en la comprensión de la complejidad de los procesos de adaptación y reconocer que el éxito de las soluciones técnicas depende de su recepción en las comunidades.
 - La adaptación es una parte integrante de la resiliencia atendiendo a que el cambio climático no es el único estresor que afecta a las sociedades: Se intercepta con factores económicos, demográficos, conflictos o degradación ecológica. De este modo, debe coordinarse las acciones de adaptación al cambio climático con el resto de los factores que inciden en los recursos hídricos. Por ejemplo, es importante implementar herramientas de regulación en *cross-compliance*, que articulen agua, agricultura, medio ambiente y gestión del espacio rural. Existe la posibilidad de cooperación entre distintos sectores en el ámbito urbano, que concentra la mayor demanda de agua y energía. Se debe implementar políticas de ahorro mediante el uso eficiente del agua y la energía e integrar los usos por cuenca hidrográfica.
 - Existe consenso sobre las bondades de la adaptación, pero esta también puede generar potenciales problemas, asociados a la capacidad de reacción de los mercados. Es posible, por ejemplo, que algunas medidas de adaptación que parezcan adecuadas en el corto plazo tengan un efecto negativo en el largo plazo. En este contexto, destaca aquellas medidas de adaptación que son ineficientes en el largo plazo y que pueden incluso involucrar costos más elevados en el futuro.

⁷ Esta sección se basa en la Memoria del Seminario-Taller: Recursos hídricos bajo incertidumbre y riesgo al cambio climático: herramientas para los tomadores de decisión del sectores público y privado.

- Existe un amplio espectro de opciones de adaptación que incluyen desde nueva infraestructura hasta seguros, educación, transversalidad e incentivos. Sin embargo, falta información sobre sus ventajas y desventajas en condiciones donde los recursos son limitados.
- La política pública debe impulsar las siguientes acciones: Mejoramiento de la gestión; adecuación legal (*en Chile se debiera desarrollar un sistema más simple y equitativo*); protección de fuentes de agua; articulación institucional; y sinergias: solucionar el desorden institucional, administrativo, y en el financiamiento. También, se debe avanzar hacia aproximaciones sistémicas, que incluyan las dimensiones económica, social, ambiental y técnica; se debe mejorar la percepción de la población respecto al problema del agua a través de educación: se la considera un bien abundante y es necesario monitorear disponibilidad e implementar alertas tempranas.
- El lenguaje de la adaptación debe cambiar en el corto plazo para incorporar la dimensión de negocios. Se debe reflexionar sobre la escala en que son rentables los proyectos para el sector privado.

4. Instrumentos económicos, recursos hídricos y administración de riesgos

El agua es un bien con características complejas. Esto es, resulta un bien esencial para la vida humana y de los ecosistemas y para un amplio espectro de actividades económicas que en muchos casos es un bien público o al menos un bien de interés común que sin embargo atendiendo a su escases, utilidad y costos de producción adquiere también un valor económico (Ward y Michelsen, 2002). En este contexto, el uso de diversos instrumentos económicos que contribuye a modificar el comportamiento económico de los agentes puede contribuir a una mejor estrategia de uso y preservación de los recursos hídricos en el contexto del cambio climático (Gourieroux y Jasiak, 2001).

Una apropiada aplicación de los instrumentos económicos en la gestión de los recursos hídricos que permita su preservación, desarrollo y selección del uso apropiado ante distintos fines requiere consolidar el conocimiento de los distintos valores económicos del agua y los beneficios y costos económicos de diversas políticas hídricas. Sin embargo, persiste aún intensos debates sobre los diversos valores económicos del agua atendiendo a sus diversos usos y formas de medición de este valor (Ward y Michelsen, 2002). Asimismo, persisten debates intensos sobre las sensibilidades de respuesta de la oferta y la demanda de agua a diversos incentivos económicos. La evidencia disponible sugiere de acuerdo al uso de meta-análisis, por ejemplo, que las elasticidades de la demanda de agua del sector residencial se ubican en 0,207 (-0,44 a 1,56) para el ingreso y en -0,365 (-3,05 a -0,002) para el precio (Sebri, 2014). Los resultados de los estudios son potencialmente sensibles y difieren con la utilización de otros enfoques (Worthington y Hoffman, 2008; Nauges y Whittington, 2010) y con cambios según el tipo de uso (Worthington, 2010). Las elasticidades de la demanda de agua para uso residencial sugieren que en general la demanda de agua aumentará en correspondencia con la trayectoria del ingreso pero a un ritmo mucho más pausado. Por otra parte, las magnitudes de la elasticidad precio de la demanda de agua residencial sugieren el consumo es bastante inelástico al precio lo que refleja la importancia del agua y la inexistencia de substitutos adecuados. En el caso de la demanda de agua para irrigación se observa, con un meta-análisis una media de -0,48 y una mediana de -0,16 (Scheierling, *et al.*, 2006). Ello sugiere también una demanda inelástica que refleja la escasa sustituibilidad del insumo hídrico. De este modo, una estrategia de incentivos económicos debe estar acompañada de un conjunto de regulaciones y de la construcción de una nueva infraestructura.

E. Comentarios generales

El conjunto de la evidencia presentada a lo largo del texto expresa la importancia de considerar los impactos potenciales del cambio climático sobre los recursos hídricos y de desarrollar una estrategia apropiada de administración de riesgos donde participen todos los sectores involucrados. La elaboración de esta estrategia es, sin embargo, una tarea compleja en distintos niveles; por ejemplo, es necesario

identificar los efectos específicos del cambio climático y considerar que acontecen en el contexto de otros efectos e impactos. Esto es, los cambios en las precipitaciones acontecen en un contexto donde se puede esperar una demanda creciente de agua para distintas actividades económicas y residenciales.

Asimismo, persisten diversos debates que abarcan desde la ciencia del cambio climático y las capacidades para realizar proyecciones regionales y el uso apropiado de la variabilidad climática para evaluar los impactos del cambio climático, sobre las formas y mecanismos de adaptación y la aplicación de diversas políticas públicas, incluyendo el uso de diversos instrumentos económicos. En todo caso, también resultó evidente dentro del seminario que no obstante la gran cantidad y diversidad de información que ya existe sobre los procesos de adaptación y la preservación y uso de los recursos hídricos es necesario considerar el tipo de información y la escala que resulta útil para la toma de decisiones del sector público y privado.

Los trabajos presentados en el seminario resultan de una gran riqueza y muestran la gran diversidad de enfoques que existe para abordar los temas del cambio climático y las potenciales políticas públicas. En muchos sentidos, todas estas discusiones adquieren una creciente relevancia al buscar convertirse en propuestas concretas de política pública. En ello está el reto: asumir procesos de política pública que tienen consecuencias directas con la mejor información posible pero que sigue siendo limitada y que conlleva por tanto un cierto grado de incertidumbre.

Bibliografía

- Agrawala, S. y S. Fankhauser (2008), *Economic Aspects of Adaptation to Climate Change: Costs, Benefits and Policy Instruments*. OECD Publishing.
- Artikov, I., *et al.* (2006), Understanding the Influence of Climate Forecasts on Farmer Decisions as Planned Behavior, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 45(9), 1202-1214.
- Bernstein, P. (1998), *Against the Gods: The remarkable history of risk*. John Wiley and Sons, INC.
- Bosello, F., C. Carraro y E. De Cian (2010), Market- and Policy-Driven Adaptation. En: Bjørn Lomborg (ed.), *Smart Solutions to Climate Change: Comparing Costs and Benefits*. Cambridge University Press.
- Canova, F. (2007) “*Methods for Applied Macroeconomic Research*”, Princeton University Press.
- Cecchini, S., E. Espíndola, F. Filgueira, D. Hernández y R. Martínez (2012), Vulnerabilidad de la estructura social en América Latina: medición y políticas públicas, *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 3(2). 32-45.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2010), *La Economía Del Cambio Climático En América Latina Y El Caribe. Síntesis 2010*. (LC.G.2474) Santiago de Chile.
- Coles, S. (2001), An introduction to statistical modeling of extreme values, Springer-Verlag.
- Darwin, R. *et al.* (1995), *World Agriculture and Climate Change: Economic Adaptations* United States Department of Agriculture, Economic Research Service.
- Easterling, W E., *et al.* (1993), Paper2. *Agricultural Impacts of and Responses to Climate Change in the Missouri-Iowa-Nebraska-Kansas (MINK) Region*, *Climatic Change*, 24(1-2), 23-61.
- Embrechts, P., C. Klüppelberg y T. Mikosch (1997), *Modelling Extremal Events: For Insurance and Finance*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Fankhauser, S. (1995), *Valuing Climate Change: The Economics of the Greenhouse*. Routledge.
- Galindo, L. M., J. Samaniego, J. E. Alatorre, J. Ferrer (2014), *Procesos de adaptación al cambio climático: análisis de América Latina*. Estudios del cambio climático en América Latina (LC/W.647), Santiago, Chile.
- Gourieroux, C. y J. Jasiak (2001), *Financial Econometrics: Problems, Models, and Methods*. Princeton University Press.
- Hepburn, C. y N. Stern, (2008), A New Global Deal on Climate Change, *Oxford Review of Economic Policy*, 24(2), 259-279.
- Hodrick, R. J. y E. C. Prescott (1997) “Postwar U.S. Business Cycles: An Empirical Investigation”, *Journal of Money, Credit and Banking*, 29(1), 1-16.
- International Energy Agency (IEA, 2012), *World Energy Outlook 2012*. OECD Publishing.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) (2007a) *Climate Change 2007 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press, 2007.

- _____ (2007b), *Climate Change 2007 - Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press, 2007.
- _____ (2008), El cambio climático y el agua. Documento técnico VI del IPCC, Ginebra.
- _____ (2013), “*Summary for Policymakers*”, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, T.F. Stocker y otros (eds.), Cambridge, Cambridge University Press.
- _____ (2014), *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*, C. B. Field y otros (eds.), Cambridge, Cambridge University Press.
- Kirch, W. B. Menne y R. Bertollini (2005), Extreme weather events and public health responses. Springer.
- Knowler, D. y B. Bradshaw (2007), Farmers’ Adoption of Conservation Agriculture: A Review and Synthesis of Recent Research, *Food Policy*. 32(1), 25-48.
- Maravall, A. (1999) “Unobserved components in economic time series”. En: H. Pesaran y M. R. Wickens (eds.), *Handbook of Applied Econometrics: Macroeconomics*, Blackwell Publishers.
- Metcalf, G. E. (2005), Tax Reform and Environmental Taxation. National Bureau of Economic Research Working Paper Series No. 11665.
- Mills, T. C. (2003) “*Modelling Trends and Cycles in Economic Time Series*”. Palgrave Macmillan.
- Mun, J. (2006), Modeling risk: Applying Monte Carlo simulation, real options analysis, forecasting, and optimization techniques. Chichester, England: John Wiley & Sons.
- Nakićenović, N. y R. Swart (2000), *Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Nauges, C. y D. Whittington (2010), Estimation of Water Demand in Developing Countries: An Overview, *The World Bank Research Observer*, 25(2), 263-294.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD, 2012), *Farmer Behaviour, Agricultural Management and Climate Change*. Paris: OECD Publishing.
- Prokopy, L. S. et al. (2008), Determinants of Agricultural Best Management Practice Adoption: Evidence from the Literature, *Journal of Soil and Water Conservation*. 63(5), 300-311.
- Rejda G. E. (2007), Principles of Risk Management and Insurance. Pearson Addison-Wesley.
- Rosenzweig and Martin L. Parry (1994), Potential Impact of Climate Change on World Food Supply, *Nature*, 367(6459), 133-38.
- Scheierling, S. M., J. B. Loomis y R. A. Young (2006), Irrigation water demand: A meta-analysis of price elasticities. *Water resources research*, 42(1), 1-9.
- Sebri, M. (2014), A meta-analysis of residential water demand studies, *Environment, Development and Sustainability*, 16(3), 499-520.
- Stern, N. (2007), *The economics of climate change: The Stern Review*, Cambridge University Press.
- _____ (2008), The Economics of Climate Change, *American Economic Review*, 98(2), 1-37.
- Tans, P. y R. Keeling (2013), “Trends in Carbon Dioxide”. En línea: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>.
- United Nations (United Nations, 2004), World Population to 2300. En línea: <http://www.un.org/esa/population/publications/longrange2/WorldPop2300final.pdf>.
- United Nations Environment Programme (UNEP, 2012), *The Emissions Gap Report 2012*. United Nations Environment Programme (Nairobi).
- Ward, F. A. y A. M. Michelsen (2002), The economic value of water in agriculture: concepts and policy applications, *Water Policy*, 4(5), 423-446.
- World Bank (2010a), *The Synthesis Report of the Economics of Adaption to Climate Change Study*. Washington, DC: The World Bank Group.
- _____ (2010b), *The Cost to Developing Countries of Adapting to Climate Change. New Methods and Estimates*. Washington, DC: The World Bank Group.
- Worthington, A. C. (2010), *Commercial and Industrial Water Demand Estimation: theoretical and Methodological Guidelines for Applied Economics Research*, *Estudios de Economía Aplicada*, 28(2), 237-258.
- Worthington, A. C. y M. Hoffman (2008), An Empirical Survey of Residential Water Demand Modelling, *Journal of Economic Surveys*, 22(5), 842-871.

II. Los recursos hídricos de las américas en los nuevos escenarios climáticos: la visión desde el proyecto VACEA

*Fernando Santibáñez*⁸

A. Introducción

La humanidad se encamina a un cambio climático cuyas evidencias son cada vez más claras e irrefutables. Los más de 7.000 millones de habitantes que pueblan el planeta, consumiendo diariamente 90 millones de barriles de petróleo, 11,5 km³ de agua dulce y 6,8 millones de m³ de madera, está llevando a la biosfera a una situación crítica cuya huella está provocando cambios permanentes en la biósfera. Los océanos reciben más desechos de los que pueden absorber, el agua dulce de los continentes muestra señales de agotamiento y deterioro de su calidad. La atmosfera terrestre recibe casi 1.000 toneladas por segundo de gases de efecto invernadero, lo que está provocando un calentamiento en torno de 0,2 a 0,3°C cada 10 años. Junto con esto, los bosques del mundo, que son los grandes reguladores del clima, se siguen extinguiendo en las regiones tropicales, bajo la sierra y el fuego, a razón de 24 hectáreas (ha) por minuto (13.000.000 ha/año). Frente a toda esta desenfrenada acción humana, están surgiendo los signos inequívocos del estrés que está sufriendo el planeta (Sustainable Europe Research Institute, 2009).

Toda esta actividad, pareciera estar dejando huellas indelebles sobre la faz de la tierra siendo prácticamente imposible que una intervención de esta magnitud no tenga efectos en el comportamiento de la atmosfera, por lo que los cambios que sufrirá el escenario climático mundial serán uno de los grandes desafíos que enfrentará la humanidad en este siglo (IPCC, 2013a). Los cambios permanentes que podría sufrir el clima de las diferentes regiones del mundo, exigirán importantes acciones de adaptación para reducir los riesgos naturales, mantener la capacidad de producir alimentos, evitar la

⁸ Profesor de agroclimatología, Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

degradación de los ecosistemas, las extinciones de importantes especies, el agotamiento del agua dulce, la degradación de los suelos y un potencial desequilibrio biológico que afectaría a los ecosistemas naturales, agrícolas y a la salud humana (Santibáñez y Santibáñez, 2007).

B. El calentamiento global puede llevar al clima mundial a situaciones inesperadas

El calentamiento de las regiones intertropicales podría acelerar los vientos alisios al punto de provocar una verdadera “expansión” de la franja intertropical terrestre, empujando a todos los sistemas climáticos hacia los polos. Esto significa que los desiertos subtropicales debieran alejarse del ecuador, expandiéndose hacia el sur y el norte, cubriendo regiones que hasta ahora no son desérticas. El desierto de Atacama debiera en este caso desplazarse hacia la zona central de Chile, el desierto del Mojaba (Arizona) y Sonora, hacia California. Esto pone en condición de vulnerabilidad a extensas regiones agrícolas tanto en América del Sur como del Norte, las cuales podrían ver disminuida su disponibilidad de agua, particularmente para el riego (IPCC, 2013b).

C. Los ciclos del clima en Chile

Por la ubicación de Chile en el planeta, su territorio recibe una elevada influencia anticiclónica, la que podría ir aumentando hacia el centro y sur del país en las décadas que vienen, haciendo que continúe la tendencia decreciente que han mostrado las precipitaciones en el último siglo. A estas tendencias de largo plazo, se agregan los ciclos de sequía de corto plazo, los que tienen una longitud de 10 a 20 años. Este último fenómeno es conocido como la Oscilación Decadal del Pacífico, el cual hace que toda la costa americana pase por periodos de aguas frías, asociados a una alta frecuencia de Niñas (Bond y Harrison, 2000). Adicionalmente a esta causa de variabilidad climática, sobre los climas chilenos juega además otro fenómeno llamado Oscilación Antártica (AO), el que influye mayormente en la actividad frontal en la zona subantártica (Daoyi y Wang, 1999). En periodos bajos de la OA, los frentes son más débiles, no alcanzando a traer precipitaciones hacia la zona central. Desde el inicio de los años 2000 estamos cruzando por un periodo seco asociado mayormente a la Oscilación Decadal del Pacífico, que ha traído una alta frecuencia de episodios de aguas oceánicas frías y la consecuente menor pluviometría.

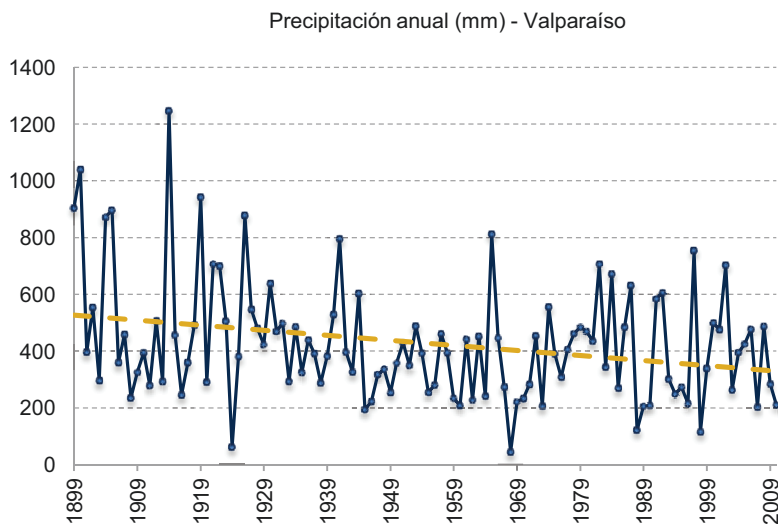
D. Las tendencias que ha mostrado el clima en las últimas décadas

Los recursos hídricos son uno de los elementos que deberán resistir a las mayores amenazas durante este siglo en Chile, debido al excesivo consumo y a la reducción de su disponibilidad debido a los cambios que está experimentando el régimen de lluvias (Santibáñez, *et al.*, 1997). La fuerte reducción que ha venido experimentando la precipitación anual en las regiones costeras de Chile hasta ahora es un fenómeno más bien localizado en el litoral, no sabemos en qué medida, durante este siglo, las regiones interiores podrían comenzar a mostrar similar tendencia (véase los gráficos 5 y 6). Como sea lo que acontezca con las precipitaciones, la hidrología de los ríos podría sufrir importantes consecuencias debido a la subida de 300 a 500 metros de la isoterma 0°C, lo que reducirá los depósitos de nieve en la cordillera, haciendo que la precipitación invernal escurra rápidamente hacia el mar, provocando la disminución del volumen de los glaciares (Rivera, *et al.*, 2000).

Adicionalmente a los factores naturales derivados del cambio climático, los recursos hídricos vienen dando señales de agotamiento hace ya varias décadas en la zona centro norte y norte de Chile (Madaleno y Gurovich, 2007). El aumento desmedido de la demanda por la agricultura, la minería y la generación de energía, junto al deterioro de la calidad de las aguas por contaminación, está haciendo de este recurso un elemento crónicamente deficitario de Santiago al norte y frecuentemente deficitario de Santiago al sur. Los cambios negativos en el régimen hídrico sobre los ecosistemas se hacen sentir tan al sur como Valdivia (Urrutia, *et al.*, 2005). Contribuyen a esta situación, el desdoblamiento vegetal que

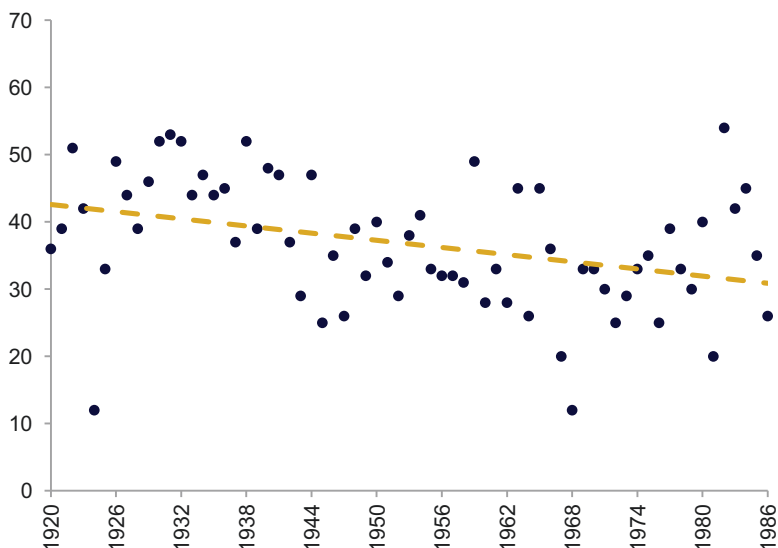
han sufrido las laderas de los cerros y las quebradas, lo que ha acelerado el escurrimiento y reducido la recarga de las napas, y el aumento de la evaporación debida al calentamiento global. Todo esto está intensificando la aridez de la zona central, proceso que es parte de un fenómeno más global, llamado “desertificación” (véase el gráfico 7).

Gráfico 5
Tendencia de la precipitación durante el siglo XX en la costa chilena



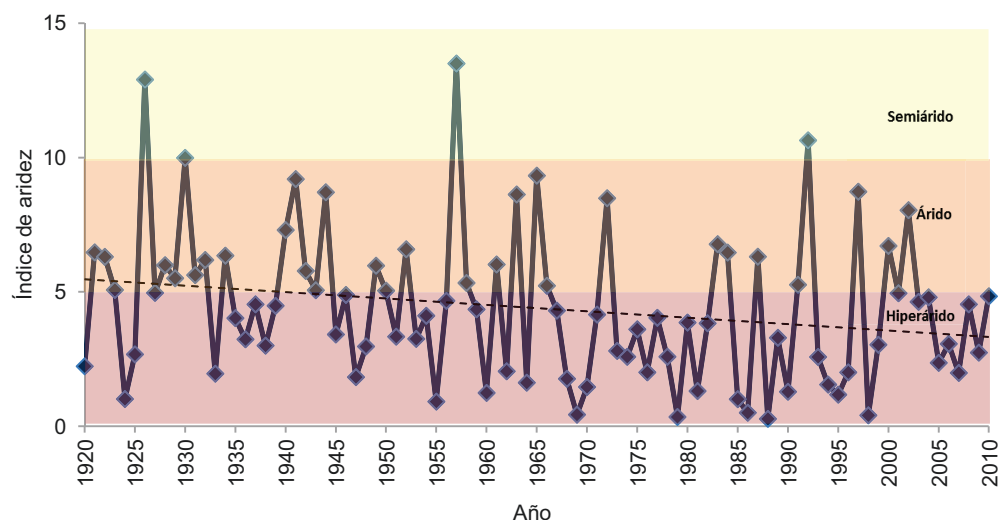
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6
Serie histórica del número de días de lluvia de Valparaíso. Período 1920-1986



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 7
Tendencia al aumento de la aridez de los climas del norte y centro del país



Fuente: Elaboración propia.

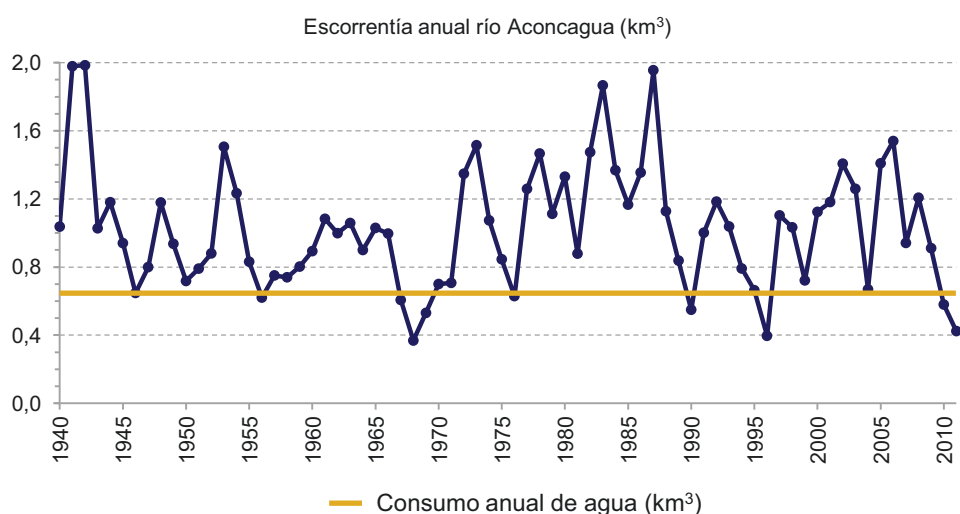
E. ¿Cuánta agua hay en Chile?

De Santiago al norte la disponibilidad de agua por habitante está por debajo del límite de los 1000 m³ considerado internacionalmente como adecuados para el desarrollo. Esto nos permite afirmar que el desarrollo de actividades económicas en el norte de Chile dependerá en el futuro fuertemente de las posibilidades de generar nuevas fuentes de agua a costos razonables. Por ahora, las tecnologías de transporte de agua a distancia o la desalación de agua marina no generan agua a costos compatibles con la capacidad de pago de la agricultura.

Entre Atacama y Biobío precipitan, en un año normal, 168,84 km³ de agua. De esta cantidad, solo 38,55 km³ escurren desde la cordillera hacia los Valles (caudal afluente). De ese caudal, una cantidad muy baja llega al mar en las regiones del norte (Atacama y Coquimbo), no obstante en las regiones centrales llama poderosamente la atención constatar que más de un 50% del agua de los ríos llega al mar (caudal sobrante) y de O'Higgins al sur, llega al mar más del 90% del agua que provee la cordillera. Es así como entre Atacama y Biobío los ríos vierten al mar anualmente, una cifra del orden de los 50. El agua utilizada para actividades económicas y como bebida, es de 16,47 Km³. El riego entre Atacama y Biobío, demanda unos 7,39 Km³ de agua cada año. Esta demanda no es satisfecha por igual según las regiones. Así por ejemplo en Atacama de una demanda de 120 millones de m³ (0,12 Km³), solo habrían unos 50 millones de m³ disponibles en superficie. La diferencia es probablemente satisfecha por la extracción de aguas subterráneas. En Coquimbo la situación no es mejor, de una demanda de 530 millones de m³, las aguas superficiales aportarían unos 430 millones de m³, siendo necesario completar los 100 millones de m³ restantes con extracción de agua subterránea. La región de Valparaíso presenta la situación más crítica, con una demanda de 650 millones de m³, la cual solo es satisfecha en una cifra de 450 millones por las aguas superficiales, presentando un desabastecimiento de 190 millones de m³. La agricultura de la región Metropolitana tiene una demanda de 1030 millones de m³, de lo que aportarían las aguas superficiales uno 910 millones, los 120 millones faltantes serían aportados por las aguas subterráneas. Ya en la región de O'Higgins la situación mejora un tanto, por cuanto, en años normales, la demanda puede ser enteramente aportada por las aguas superficiales, habiendo un excedente de 264 millones de m³. En Maule este excedente crece a 1400 millones de m³ y en Biobío a 3.587 millones de m³. Estas cifras muestran una situación muy desigual entre las regiones, habiendo un déficit crónico de agua desde la región Metropolitana al norte. (véase el gráfico 10). Probablemente por esta razón, es que en los últimos años se ha observado una tendencia a la disminución de la superficie regada en estas regiones, lo que estaría

indicando que se está produciendo un ajuste entre la oferta y la demanda, no sin costo para los agricultores que invirtieron importantes recursos en plantaciones y sistemas de riego (véase el gráfico 8 y cuadros 2 y 3). Las cifras anteriores se refieren a promedios históricos. No podemos dejar de lado la fuerte variabilidad de las precipitaciones anuales, lo que, en años lluviosos, tiende a anular el déficit crónico, el cual reaparece inmediatamente cuando la precipitación vuelve a la normalidad o a valores por debajo de lo normal, donde estos déficit se agravan aún más. Los sistemas de regulación hidrológica con que cuentan algunas regiones, pueden atenuar el déficit de años secos con el agua almacenada en años más lluviosos. No obstante eso, la capacidad de regulación es limitada, quedando fuertemente disminuida durante los ciclo de sequía que pueden durar varios años. Con las demandas actuales de agua, en el mejor de los casos los embalses disponen de una capacidad para atenuar la sequía de un par de años consecutivos (Santibáñez, *et al.*, 2014) (véase el gráfico 9 y cuadro 4).

Gráfico 8
Relación entre la oferta y demanda de agua en el valle del río Aconcagua^a



Fuente: Elaboración propia.

^a La línea amarilla indica la demanda (agricultura+minería+industria y ciudad). La azul indica la oferta. Obsérvese el gran número de años con deficiencia hídrica.

Cuadro 2
Agua aportada por las precipitaciones (PP), caudal afluente (Qa) y sobrantes (Qs) en algunas cuencas

Región	PP	Qa	Qs	Qs/Qa
	Km ³	Km ³	Km ³	
Atacama	6,46	0,19	0,05	0,26
Coquimbo	8,86	1,15	0,57	0,50
Valparaíso	6,65	1,20	0,60	0,50
R. Metropolitana	10,56	3,66	2,14	0,59
O'Higgins	16,02	4,10	4,66	1,14
Maule	42,48	8,10	15,25	1,88
Biobío	77,80	20,15	26,81	1,33
Total	168,84	38,55	50,09	

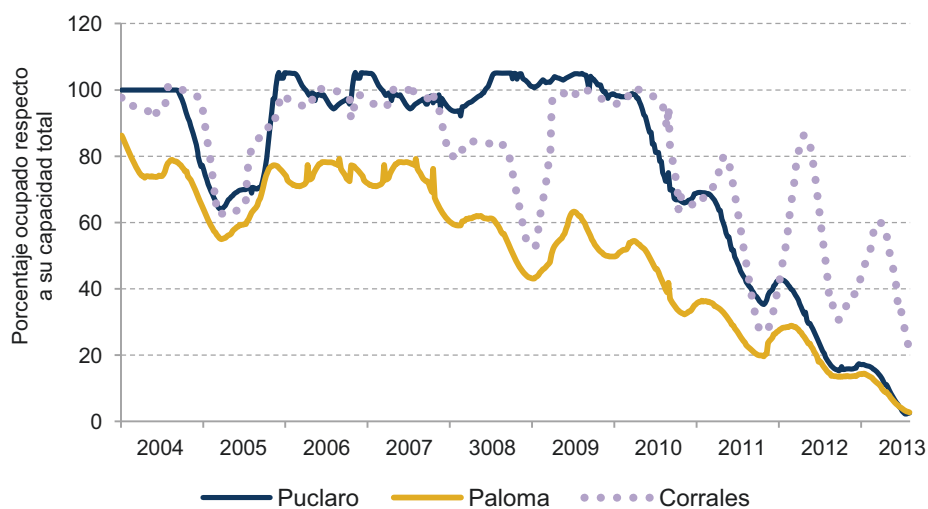
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3
Uso de los recursos de agua superficial por la agricultura entre Atacama y Biobío

Región	Agua utilizada	Demanda para riego	Disponible para uso agrícola	Déficit o superávit
	Km ³	Km ³	Km ³	Miles m ³
Atacama	0,13	0,12	0,05	-64,22
Coquimbo	0,48	0,53	0,43	-101,42
Valparaíso	0,57	0,65	0,45	-192,06
Metropolitana	1,14	1,03	0,91	-117,43
O'Higgins	2,05	1,58	1,84	264,67
Maule	4,05	2,24	3,65	1 403,87
Biobío	8,06	1,25	4,84	3 587,06
	16,47	7,39	12,17	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 9
Tendencia del agua almacenada en los embalses de la región de Coquimbo en los últimos años



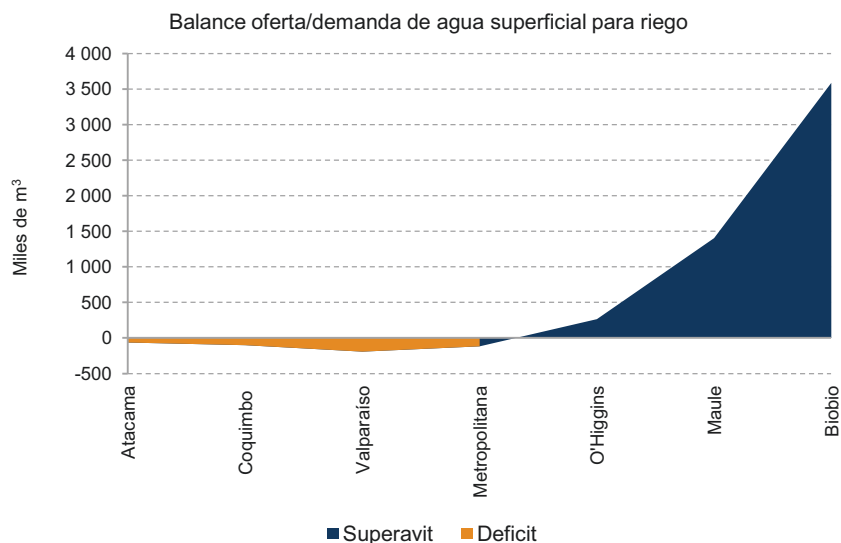
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4
Relación entre la capacidad de regulación y las demandas de agua

	Superficie regada, has	Capacidad embalse, millones m ³	Agua embalsada/demanda riesgo
Atacama	19 533	201	1,72
Coquimbo	75 713	1 298	2,45
Valparaíso	86 157	95	0,15
Metropolitana	136 756	258	0,25
O'Higgins	210 692	237	0,15
Maule	299 102	1 722	0,77
Biobío	166 573	6 868	5,50

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 10
Balance entre la demanda y la oferta de aguas superficiales para riego por región



Fuente: Elaboración propia.

Son numerosos los factores naturales que se conjugan en la crisis del agua en Chile, a estos, se agregan factores legales derivados del estatus legal que el país adoptó para este recurso, que facilitó la concentración de la propiedad de los derechos de agua. Se agrega a esto, el alto uso del recurso en la generación eléctrica, la elevación de las isotermas que han reducido los depósitos de nieve, la sobreexplotación de los acuíferos, la contaminación de las aguas, la falta de una gestión de la cubierta vegetal en las partes altas de las cuencas, el cambio en el régimen de precipitaciones.

Agua utilizada = $Q_a - Q_s$, la demanda de riego fue calculada a partir de la superficie regada, la disponible es el agua utilizada menos los usos no agrícolas. Las zonas deficitarias cubren el déficit con extracción de agua subterránea.

Las consecuencias de la sequía son múltiples en un país como Chile. La falta de forraje para la ganadería de secano es una de las más dramáticas. La pérdida de siembras de cereales en el secano de la costa, las pérdidas de producción en la fruticultura han sido significativas de Aconcagua al norte, llegando incluso a abandonarse huertos con el objeto de concentrar el agua en sectores más reducidos. En ciertos casos, las consecuencias se proyectan hacia la sustentabilidad humana, por cuanto como consecuencia del descenso de las napas, en extensos sectores de la costa los pozos han quedado en seco, dejando a los asentamientos humanos sin abastecimiento de agua de bebida.

Las regiones más afectadas son las de menor pluviometría, es decir, de Aconcagua al norte. No obstante esto, la sequía se está haciendo sentir tan al sur como Osorno y en las regiones australes, donde un breve periodo sin lluvias se hace sentir como sequía, debido a las elevadas tasas de evaporación que genera el viento seco que llega del lado argentino. Luego de una sequía tan larga, las cuencas quedan exhaustas, perdiendo gran parte de sus reservas de nieve, de la cobertura vegetal y del agua almacenada en el subsuelo. Para recuperar el estado hidrológico normal de las cuencas se requiere al menos un par de años consecutivos con precipitación claramente por sobre el promedio.

La sequía que se inició en la primera década de los años 2000 ha sido una de las más extremas por su duración, al punto, que ha provocado el vaciamiento casi total de los embalses en la región de Coquimbo y una reducción notable de las reservas en los embalses hasta la región del Maule.

No obstante los efectos catastróficos de la sequía, los ríos del Maipo al sur siguen vertiendo cerca del 80% de su agua en el océano. Esto se debe fundamentalmente a dos razones: la insuficiente capacidad de embalse y la gran proporción de agua usada en la generación de energía, durante el

invierno. Lo primero se soluciona con el aumento de la capacidad de los embalses, lo segundo, cuando es posible, con embalses a menor cota que retengan el agua usada en la generación de energía, para esto se requieren condiciones geográficas que no siempre están presente.

El mejoramiento de la infraestructura hidrológica de las cuencas implica obras mayores como embalses, sistemas de infiltración y recarga, mejoramiento de canales, sistemas automatizados de distribución del agua. Todo esto el país no lo puede afrontar en un periodo menor a 20 años, lo importante es ir avanzando en el mejoramiento de la infraestructura por cuanto de no hacerse, el gasto sería inabordable para el país en caso de que llegemos a un estado crítico de escasez de agua antes de la mitad de este siglo. Lo interesante es que si se hacen las inversiones, el problema es solucionable al menos del Maipo al sur, pues estamos hablando de ríos que llegan con la mayor parte de su caudal al mar. Hacia Coquimbo y Atacama la situación es diferente, pues los caudales que llegan al mar se han reducido considerablemente en los últimos años, de modo que ya está menos relacionado con el aumento de la capacidad de los embalses, sino con un aumento en la eficiencia de uso del agua, reduciendo pérdidas en los sistemas de riego y en los canales de distribución, así como con un mejor ajuste entre demandas y oferta que, por ahora, parece estar desbalanceada.

F. Agricultura e infraestructura hidráulica

La agricultura es una actividad estratégica para cualquier país, cuyo impacto social es evidente por la mano de obra que genera, las cadenas productivas que moviliza y por los efectos reguladores de la demografía en la ocupación del territorio. A diferencia de la minería, es una actividad de baja concentración de capital, por lo que su capacidad de pago para abordar enormes inversiones es baja. No descarto que los privados puedan aportar con recursos, pero las inversiones iniciales debiera hacerlas el Estado, el cual recuperará la inversión en el largo plazo vía una mayor productividad agrícola y quizás algún sistema de gravamen por la plusvalía de la tierra al aumentar la seguridad de riego. Cualquiera sea el mecanismo, son inversiones que no pueden evaluarse solo por su flujo de caja pues el Estado recupera la inversión por la enorme cantidad de externalidades positivas que genera el desarrollo agrícola de una región (empleo, cadenas de distribuidores que pagan impuestos, retención de población rural, menor presiones urbanas).

Necesitamos como país reaccionar con la mayor velocidad posible, en las regiones del norte, por las urgencias que está generando la escasez de agua, en las regiones de Santiago al sur, porque se requiere aumentar las superficies regadas donde hay aguas sobrantes, particularmente del Maule al sur. Para lograr esto la estrategia nacional de agua propone mejoramientos en la institucionalidad, mejoramiento en la información, en la eficiencia de uso de los recursos. En la actualidad son muy buenas las señales con el nombramiento de un delegado presidencial para los recursos hídricos, lo que significa que se eleva el problema a la máxima importancia, con un mandato directo de la presidencia de la república.

Es probable que necesitemos programas de capacitación más intensivos. La población debe comprender la dimensión del problema que traería una modificación del clima, de modo de entender las reacciones del Estado en materia de regulaciones, prioridades, acciones de fomento, restricciones que implicara un proceso de adaptación de la agricultura frente a una nueva condición climática.

Poco a poco las personas van comprendiendo en todo el mundo, no solo en Chile, de que el cambio climático es una consecuencia de la acción humana, por la que estamos comenzando a sufrir las consecuencias. Falta un poco más de acción educativa al respecto para que la población apoye las políticas públicas que será necesario implementar.

Es evidente que la agricultura de las regiones con mayor escasez de agua debiera ser mucho más cauta cuando se trazan planes de producción. El clima chileno es cíclico y pasamos por periodos de 10 a 15 años de bonanza, con Niños frecuentes que llenan los embalses, Entonces se hacen inversiones que luego, cuando viene el ciclo seco, quedan sin sustento. Importante es generar la información de largo plazo que permita más realismo en el crecimiento de la agricultura en zonas vulnerables al cambio climático. Se requiere más y mejor información sobre las tendencias de los recursos hídricos, mas

capacitación en gestión eficiente del agua, sistemas de riego de alta tecnología, sistemas de embalses de pequeña y mediana escala, sistemas de alerta temprana que vayan informando al agricultor con varios meses de anticipación el estado de los recursos hídricos y sus proyecciones a mediano plazo.

La siembra de nubes es útil donde existen embalses con capacidad de acumular la escorrentía que provocan las lluvias. Hay mucha experiencia en USA, China e Israel, donde se ha logrado aumentar la precipitación entre un 10 y 15%. Esto no parece mucho pero lo importante es que se generan lluvias intensas que provocan gran escurrimiento hacia los embalses, luego mejoran la recuperación de la escorrentía.

G. Los cambios climáticos y las tareas de futuro

Por su naturaleza los cambios climáticos son más bien graduales, lo que permite ir implementando las opciones de adaptación a las tendencias observadas. Chile está enfrentado a un fenómeno de descenso de la precipitación que no sabemos bien como continuará, es preferible pensar que la tendencia decreciente continuará, por lo demás, es lo que dicen los modelos atmosféricos de que disponemos, los que indican que la precipitación de la zona central podría decrecer aun en 10 a 20%. De ser así, estaríamos transitando hacia un país algo más árido como ocurrirá en todas las regiones del mundo que están al borde de un desierto. No podemos olvidar que el desierto de Atacama avanzó hacia el sur a razón de 0,4 a 1 Km por año durante todo el siglo XX. Es probable que esta tendencia continúe por algunas décadas antes de alcanzar el equilibrio que la detenga. Esto nos lleva a redoblar el paso en materia de gestión hídrica. La escasez de agua es la mayor amenaza que nos trae el cambio climático, los demás problemas serán secundarios como el aumento de la variabilidad, de ciertos eventos extremos como lluvias intensas, vientos y granizo. Para estos últimos se requerirá adaptar las tecnologías de producción de modo de reducir los riesgos de pérdidas. Solo el problema de la escasez hídrica requiere de políticas de gestión que van más allá de lo predial, donde el Estado debe ejercer su función de garante del bien común, considerando que el agua es un bien esencial.

El análisis de la situación nos lleva a pensar que cualesquiera sean las tendencias climáticas, necesitamos una estrategia que ajuste rigurosamente las demandas y ofertas de agua propias de cada región. Al parecer, el desarrollo de las regiones de más al norte, se ha hecho sobre la base de un recurso hídrico que no existe, habiéndose excedido largamente la demanda de la línea de lo sostenible. No podemos repetir esto en las regiones de Santiago al sur, se requiere establecer para cada cuenca la real disponibilidad sustentable, agregando las tendencias del cambio climático. Esto requiere de un minucioso estudio de la variabilidad y capacidad hidrológica de cada cuenca. Importante es decir que de Santiago al sur, en la medida que se hagan las inversiones, hay suficiente margen hidrológico para absorber una tendencia negativa en la precipitación. Haciendo bien la tarea Chile tiene una oportunidad única como exportador de alimentos, probablemente nunca llegue a ser un gran exportador si nos comparamos con países gigantes del vecindario, pero nuestra capacidad de exportar en relación al producto agrícola es sin igual, ya lo sabemos hacer, tenemos la experiencia y los conocimientos, solo necesitamos sortear el problema hídrico, mas algunos cambios tecnológicos para atenuar el aumento de otros riesgos asociados al cambio climático. Haciendo bien y a tiempo lo que tenemos que hacer, saldremos airoso y quizás, hasta fortalecidos de esta situación que, en la mayor parte del mundo, creará complicaciones bastante mayores que las que está creando en Chile. Con todo, el cambio climático no nos tratara tan mal, es solo una invitación a modernizar nuestra infraestructura productiva.

H. Los aportes del proyecto VACEA para superar la crisis del agua

1. Evaluación de impactos potenciales del cambio climático

Los cambios climáticos pueden generar cambios significativos de los potenciales de producción agrícola. Un alza de 2°C representa en cualquier país, un desplazamiento de cientos de kilómetros en las condiciones climáticas locales, instalando condiciones climáticas diferentes que, en ciertas regiones, forzarán a cambios de uso del suelo que podrían tener profundas consecuencias sobre las demandas de

agua. En varias zonas del continente americano, la disminución de la pluviometría y el aumento de la recurrencia de sequías, hará necesario implementar o reforzar la infraestructura de riego, ampliar los sistemas de conservación de agua, mejorar las técnicas de regadío, captar nuevas fuentes de agua. Considerando las inversiones que todo esto involucra, será muy importante contar con evaluaciones científicamente fundadas de los potenciales de producción, así como de los niveles de riesgos agroclimáticos que las justifiquen. VACEA podrá a disposición de los hacedores de políticas públicas, una herramienta basada en modelación dinámica de cultivos, que permite proyectar los impactos del cambio climático en la modificación de los potenciales de producción, en los cambios en los niveles de riesgos y en la emergencia de nuevas oportunidades para la agricultura. Todos estos son aspectos esenciales para el diseño de estrategias de adaptación a los nuevos escenarios climáticos.

2. Optimización de la producción por unidad de agua

En las próximas décadas, ciertas regiones subdesérticas del continente verán profundizarse la crisis del agua debido al aumento del consumo y a la disminución de la oferta. Siendo la agricultura el principal consumidor de agua, es probable que esta sea la actividad económica más afectada y a la cual se le solicite los mayores esfuerzos de orientarse hacia una gestión altamente eficiente del recurso. VACEA proveerá de una herramienta que permite orientar las inversiones en tecnología de riego, hacia áreas geográficas donde la relación producto/agua se maximice, de modo de hacer más rentables las inversiones públicas y privadas.

3. Evaluación de los *hotspots* de amenazas a la conservación de la biodiversidad

VACEA ha realizado un importante esfuerzo por desarrollar metodología que permita evaluar el grado de amenaza que puede representar el cambio climático para la conservación de importantes ecosistemas. El sistema está basado en la evaluación de los niveles de estrés potencial que inducirían los cambios en la conducta climática, sobre los principales ecosistemas. A escala continental, y con más detalle en algunas de las áreas piloto del proyecto, se presentará un ejercicio de evaluación de las amenazas del alza en la temperatura y de los cambios en la pluviometría, hacia la conservación de los ecosistemas, identificando los *hotspots* donde la amenaza adquiere particular intensidad.

4. Análisis de la variabilidad en la oferta de agua

Un aspecto tan importante como la magnitud de los cambios climáticos, lo puede representar el cambio en la recurrencia de eventos extremos. VACEA proporcionará un análisis de la frecuencia de ciertos eventos amenazantes (sequías, lluvias intensas, ondas de calor, ondas de frío), así como de los posibles cambios de esta en las próximas décadas. Este análisis será basado en el tratamiento de extensas series de tiempo de datos climáticos en cada área piloto. Ello indicará hasta qué punto la frecuencia de eventos extremos podría convertirse en una amenaza para la producción agrícola, particularmente en ciertas regiones del continente.

5. Vulnerabilidad de los sistemas agrarios

VACEA ha realizado un extenso trabajo de cooperación multidisciplinar, para establecer sistemas de evaluación de la vulnerabilidad de comunidades agrícolas frente a los cambios climáticos. Se proporcionará un protocolo unificado, basado en variables económicas, sociales y ambientales, que permita identificar los factores de vulnerabilidad de las comunidades, de modo de orientar a las acciones de adaptación hacia la superación de aquellas causas que la provocan en cada caso. Igualmente, este protocolo unificado, permitirá realizar análisis comparativo de la naturaleza e intensidad de la vulnerabilidad de comunidades lejanas, permitiendo transferir experiencias de reducción de vulnerabilidad entre países con similares problemas.

6. Plataforma de información para hacer una gestión climáticamente inteligente de las políticas públicas

La síntesis de los esfuerzos de VACEA se resumirá en un sistema basado en una base de datos, más una serie de herramientas de procesos de estos datos, que permitirá diseñar y evaluar estrategias de adaptación a los nuevos escenarios climáticos. En cada área piloto, VACEA elaborará un portafolio de acciones y medidas que sirvan de base para un proceso de adaptación a los cambios climáticos, considerando los escenarios de impacto y las características de la agricultura local. La innovación consistirá en que la evaluación de riesgos, de potenciales de producción, de impactos y de vulnerabilidades, será hecha sobre la base de metodologías claras, científicamente fundadas y reproducibles, contribuyendo con ello a una gestión más eficaz de las políticas públicas de adaptación a los cambios climáticos.

Bibliografía

- Bond, N.A. and D.E. Harrison (2000): The Pacific Decadal Oscillation, air-sea interaction and central north Pacific winter atmospheric regimes. *Geophys. Res. Lett.*, 27(5), 731-734.
- Daoyi G. and S. Wang, 1999 Definition of Antarctic Oscillation index, *Geophysical Research Letters*, 26 (4): 459-462.
- IPCC, 2013a, Fifth Assessment Report - Climate Change 2013, Intergovernmental Panel on Climate Change, UN Convention on Climate Change.
- _____, 2013b, Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Intergovernmental Panel on Climate Change, UN Convention on Climate Change.
- Madaleno I. y A. Gurovich 2007, Usos conflictivos del agua en el norte de Chile, *Boletín de la A.G.E.* N° 45-2007, págs. 353-372.
- Rivera A., G. Casassa, C. Acuna y H. Lange, 2000, Variaciones recientes de glaciares en Chile, *Investigaciones geográficas, Chile*, 34: 29-60.
- Santibáñez, F., Soto, G., & Ulloa, F. (1997). Tendencias seculares de la precipitación en Chile. *Diagnóstico de la desertificación en Chile*, Corporación Nacional Forestal de Chile, p31.
- Santibáñez Q.F. y P. Santibáñez V. 2007 Trends in Land Degradation in Latin America and the Caribbean, the role of climate change. EN: *Climate and Land Degradation World Meteorological Organization*. Ginebra. Springer Verlag p 65-81.
- Santibáñez F, P. Santibáñez, C. Caroca, P. Morales, P. González, N. Gajardo, P. Perry, C. Melillán, 2014, Atlas del cambio climático en las zonas de régimen árido y semiárido de Chile. Universidad de Chile, Ministerio del Medio Ambiente, 136 pp.
- Sustainable Europe Research Institute (SERI), Austria and GLOBAL 2000 (Friends of the Earth Austria), 2009, Overconsumption, Our use of the world's natural resources, Austria 36 pp.
- Urrutia R., A. Lara, R. Villalba, 2005 ¿Cómo ha variado la disponibilidad de agua en la ecorregión de los bosques valdivianos en los últimos siglos?, *Revista Ambiente y Desarrollo* 21(3): 48-57, Santiago Chile.

III. Gestión y valoración de riesgos climáticos a escala de cuenca: propuestas desde la cuenca del río Vergara. Chile

Roberto Ponce Oliva⁹, Felipe Vásquez Lavín¹⁰ y Sergio Alonso Orrego¹¹

A. Introducción

Según la información del Quinto Informe de Evaluación (AR5) del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), se ha concluido la relevancia de la influencia antrópica sobre el calentamiento de la atmósfera y el océano, alteraciones al ciclo hidrológico, y cambios en los eventos climáticos extremos, entre otras variables. Además, la comunidad científica espera que dichos cambios se aceleren durante los próximos decenios. (Stocker, Qin *et al.* 2013).

Por otro lado, la última evidencia disponible establece que serán los recursos hídricos, y por medio de estos los sistemas agrícolas, uno de los más afectados por la variabilidad climática (Field, Barros *et al.* 2014). Dentro de los impactos esperados se cuentan: cambios en los rendimientos, mayor riesgo de plagas y enfermedades agrícolas, y cambios en los patrones productivos. Estos cambios generarán serios riesgos no sólo para la producción agrícola, sino que también para la seguridad alimentaria.

Aún cuando se ha avanzado mucho en la modelación del sistema climática desde el Primer Informe de Evaluación (FAR), persisten fuentes de riesgo e incertidumbre que no han podido ser consideradas en el AR5. Debido a que existe un componente inherente de incertidumbre que nunca podrá ser modelada, el AR5 hace especial mención a los riesgos asociados al cambio climático, clasificando dichos riesgos en cinco grupos:

⁹ Facultad de Economía y Negocios, Universidad del Desarrollo. Ainauillo 456, Concepción. Chile. (robertoponce@udd.cl).

¹⁰ Núcleo Científico Milenio en Economía Ambiental y Recursos Naturales.-MSI. Departamento de Economía Universidad de Concepción. Teléfono: 56-41-2268406.

¹¹ Associate Professor, Department of Forest Science, Universidad Nacional de Colombia.

- i) Respuestas del sistema climático a la emisión de gases con efecto invernadero, y sus impactos.
- ii) Flujo y stock de carbono y otros gases con efecto invernadero.
- iii) Sistemas tecnológicos.
- iv) Comportamiento de los mercados y los sistemas regulatorios.
- v) Percepciones de los individuos y las empresas con respecto al cambio climático.

En este contexto de altos riesgos e incertidumbre, se hace necesario analizar opciones de política, tanto pública como privada, que permitan gestionar dichos riesgos con el objetivo de disminuir la vulnerabilidad de los sistemas. En este contexto, este documento presenta algunas opciones al respecto, bajo el marco del proyecto "*Economic Evaluation of Climatic Change Impacts on Water Resources at River Basin Scale*" (eec2-WaterProject).

El eec2-Water Project tiene como objetivo general determinar los impactos económicos de cambios en la disponibilidad hídrica como consecuencia del cambio climático. A nivel territorial, el proyecto analiza tres cuencas latinoamericanas: río Vergara (Chile), río Chinchiná (Colombia), y río Piraiá (Bolivia), mientras que a nivel económico, el estudio está centrado en tres usuarios del agua: residenciales, agrícolas e industriales. El periodo de ejecución del proyecto abarca desde Septiembre de 2013 a septiembre de 2015, y cuenta con financiamiento del Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo (IDRC), Canadá. (www.eec2.org)

La aproximación metodológica consiste en la estimación de demandas económicas de agua, las que serán relacionadas entre sí por medio de un modelo hidrológico, obteniendo como resultado un modelo hidroeconómico para cada una de las cuencas bajo estudio. Este análisis integrado permitirá determinar cuáles son los impactos económicos del cambio climático, cuáles son las medidas de adaptación disponibles, y cuáles serían los arreglos institucionales que permitirían disminuir los potenciales impactos de una cambio en la disponibilidad hídrica.

Los objetivos específicos del proyecto son: 1) caracterizar la oferta hídrica para cada una de las cuencas; 2) identificar los principales impactos del cambio climático en la oferta hídrica; 3) identificar los principales usuarios del agua, sus demandas de agua, y la relación entre ellos; 4) determinar los impactos económicos del cambio climático sobre cada uno de los usuarios, y sobre la cuenca en general, identificando las principales opciones de adaptación disponibles.

Con respecto al estado de avance del proyecto, durante los primeros 24 meses se han realizado actividades que permiten contar con la siguientes información: caracterización biofísica de las cuencas, caracterización socioeconómica de los diversos usuarios del agua, impactos esperados del cambio climático sobre la disponibilidad de agua, y estimación preliminar de los impactos económicos del cambio climático sobre cada uno de los sectores. Hasta este momento, el análisis se ha desarrollado para cada usuario en forma individual, sin consideraciones espaciales y obviando la relación entre ellos. Un análisis detallado en forma integrada será realizado durante los próximos 12 meses del proyecto.

Este informe está organizado como sigue: en la sección dos se presentan los principales resultados asociados a la cuenca del río Vergara, la sección tres presentará los instrumentos de gestión del riesgo seleccionados, y sus limitaciones. Finalmente, la sección cuatro culmina con una propuesta de instrumentos de gestión y una propuesta de agenda de investigación en el área.

B. Caso de estudio

1. Caracterización

La cuenca del río Vergara se encuentra ubicada entre las coordenadas 37°30' y 38°14' latitud sur, y 71°36' y 73°03' longitud oeste correspondientes a las regiones del Biobío y la Araucanía, es la tercera cuenca más importante de la región del Biobío (EULA 2004). Los principales afluentes que la componen son el río Vergara, Renaico, Mininco, Malleco, Huequén y Rehue. En el anexo en los mapas A.1 y A.2 se muestra la ubicación geográfica de la cuenca y sus tributarios más importantes.

En términos administrativos la cuenca está compuesta por 13 comunas, y dos regiones (Biobío y Araucanía). Las comunas son: Mulchen, Nacimiento, Negrete, Quilaco, Angol, Collipulli, Curacautin, Ercilla, Los Sauces, Lumaco, Renaico, Traiguén, y Victoria. Se estima que la población de la cuenca es superior a 250.000 habitantes.

La zonificación de la cuenca se realizó a través de zonas agroecologías determinadas por ODEPA en el año 2000, las cuales establecen unidades de referencia tanto desde el punto de vista de sus potencialidades como restricciones que imponen las actividades agropecuarias (ODEPA, 2000). Para la cuenca en estudio, se identificaron 5 zonas: cordillera, depresión intermedia, precordillera, secano interior, y valle secano, que en conjunto tienen una extensión de 4.260 km². Esta desagregación por zonas fue utilizada para el cálculo del valor promedio mensual de temperatura y precipitación (véase cuadro 5).

Con respecto a la capacidad de uso del suelo, la cuenca del río Vergara se caracteriza por poseer un 45% de su superficie con limitaciones muy severas, no aptos para cultivos agrícolas, donde su uso es fundamentalmente forestal debido a que se presentan pendientes muy pronunciadas (12-30%), erosión severa pesada o susceptible de erosión muy severa, suelos muy delgados y pedregosidad muy excesiva. El 36% de la superficie se encuentra distribuida homogéneamente entre suelos que se caracterizan por ser utilizados para cultivos tanto intensivos como cultivos ocasionales, debido a sus bajas limitaciones en términos de pendiente, susceptibilidad de erosión y pedregosidades inferiores a un 30%. Sobre el uso actual del suelo, y considerando las limitaciones antes expuestas, se puede comprobar que el uso actual de la cuenca muestra una dominancia de un sistema de plantaciones forestales seguido de bosques nativos, alcanzando un 64% de la superficie de la cuenca. En los terrenos con menos pendiente, se aprecia un uso agrícola del suelo equivalente a un 24% del territorio.

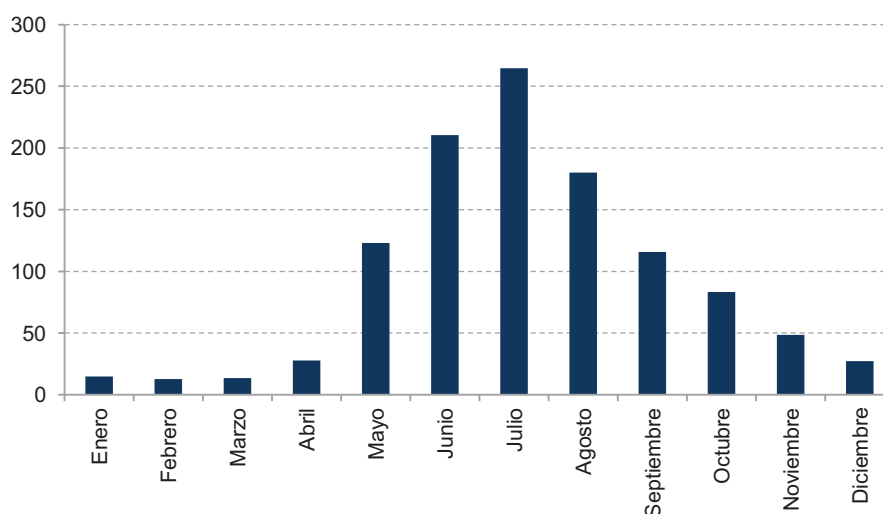
Cuadro 5
Temperatura y precipitación promedio

Mes	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)
Enero	38,3	16
Febrero	38,2	15,4
Marzo	61,5	13,7
Abril	116,2	11,3
Mayo	317,1	9
Junio	364	7,2
Julio	313,7	6,6
Agosto	227,4	7
Septiembre	138,5	8,5
Octubre	80,3	10,8
Noviembre	62,6	13,4
Diciembre	467	15,3
Promedio	185,4	11,2

Fuente: Elaboración propia.

La cuenca del río Vergara se caracteriza por una marcada estacionalidad en términos de los caudales, con máximos de 264 m³/seg en el mes de julio (véase el gráfico 11). Esta variabilidad en la disponibilidad de agua, impone serios desafíos a los tomadores de decisión para la gestión del agua dentro del territorio.

Gráfico 11
Caudales máximos y mínimos



Fuente: Elaboración propia.

El uso económico del territorio está fuertemente dominado por las plantaciones forestales, cultivo de cereales, y forrajeras. En conjunto estas tres actividades representan más del 90% del uso del suelo. Con respecto al sector industrial, la única industria de importancia que tiene una gran demanda de agua, se localiza en el pueblo de Mininco y corresponde a la Celulosa del Pacífico. La demanda de las industrias forestales representa el 98% de la demanda industrial, en tanto que el 2% restante corresponde a industrias de los rubros elaboración de productos lácteos, teñidos de cueros, e impresos (Navarro, 2006). El tercer actor demandante de agua está representado por el consumo de agua residencial, que en conjunto considera 59.000 hogares.

2. Resultados

a) Modelo hidrológico

Como fue establecido anteriormente, el objetivo del proyecto es determinar los impactos en el bienestar (económico) sobre diversos usuarios, debido a un cambio en la disponibilidad hídrica, como consecuencia del cambio climático. Así, los impactos potenciales del cambio climático sobre la disponibilidad hídrica fueron modelados por medio de un modelo hidrológico. Dicha modelación fue desarrollada sobre la base de modelos hidrológicos existentes para la cuenca, que en el caso particular de Chile, corresponde al modelo SWAT (Soil & Water Assessment Tool).

El modelo SWAT (Arnold *et al.*, 1998) fue desarrollado por el Servicio de investigación Agrícola (Agricultural Research Service; ARS), perteneciente al departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) durante los años 90. Es un modelo hidrológico y de calidad de agua, físicamente basado, diseñado para modelar el transporte de agua, sedimentos y contaminantes generados y exportados desde cuencas individuales. Puede ser utilizado para predecir los impactos producidos por las prácticas de manejo de suelos sobre los balances de agua, sedimentos y calidad del agua en cuencas grandes y complejas con diferentes tipos y usos de suelo, sobre largos periodos de tiempo. Para calcular el balance hidrológico se empleó el modelo a escala diaria. Los resultados de las simulaciones indican que el modelo reproduce satisfactoriamente el orden de magnitud de los caudales observados y su tendencia en el tiempo. Sin embargo el modelo subestima los caudales más altos durante eventos extremos. Los caudales simulados se encuentran en el rango de 24 a 64 m³/segundo, dependiendo de la estación de monitoreo utilizada. Además, la oferta hídrica fue simulada con los efectos del Niño (El Niño Southern Oscillation: ENSO), obteniendo resultados acorde con lo esperado (mayores caudales bajo el fenómeno del Niño que de la Niña).

Con respecto a los impactos del cambio climático, se simularon los impactos esperados sobre la oferta hídrica utilizando información existente sobre escenarios regionalizados de cambio climático, por medio del modelo PRECIS con una resolución espacial de 25 km. La información disponible de escenarios de cambio climático corresponden al escenario A2 y B2 para el periodo 2070-2100, y el escenario A1B para el año 2040. El cambio en la disponibilidad de agua fue calculado utilizando los valores del escenario A1B al año 2040 para perturbar el modelo hidrológico (véase el cuadro 6). Los resultados indican una reducción de 13% en los caudales medios con respecto a la situación histórica, con la mayor diferencia durante los meses de invierno.

Cuadro 6
Cambio climático: cambios en temperatura y precipitación promedio (porcentaje)

Año	2040	2070-2100
A1B		
Precipitación	+1,6%	
Temperatura	+0,4°	
A2		
Precipitación		-33,5%
Temperatura		+2,9°
B2		
Precipitación		-21,9%
Temperatura		+2,0°

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener los impactos económicos del cambio climático, se utilizan los cambios esperados en la disponibilidad de agua, y se simula el comportamiento de los agentes económicos ante este nuevo escenario. De los tres usuarios considerados en el caso de Chile (agrícola, industrial, residencial), en este informe se presentan en más detalle los resultados para el caso agrícola, ya que es el sector que presenta resultados más consolidados.

b) Agricultura

Para estimar la demanda de agua agrícola se utiliza un modelo de optimización no-lineal que permite analizar como diversos cambios (climáticos, productivos, ambientales, económicos) afectan los ingresos netos del agricultor. El modelo considera explícitamente la diferencia entre actividades de secano y regadío, asumiendo un comportamiento maximizador por parte de los agricultores. El modelo de optimización tiene una estructura lo suficientemente flexible para hacer análisis a nivel de productor, grupo de productores, zona geográfica, o comuna (Ponce *et al.*, 2014). Los resultados aquí reportados consideraron una desagregación a nivel de comuna.

La estimación de los impactos del cambio climático fue simulada por medio de dos *shocks* distintos: cambio en los rendimientos, y cambio en la disponibilidad de agua. El *shock* asociado a los rendimientos fue obtenido desde estudios previos (Santibáñez *et al.* 2008), mientras que el cambio en la disponibilidad hídrica fue obtenido desde el modelo hidrológico de la cuenca.

Los resultados encontrados sugieren que la cuenca se verá beneficiada por el cambio climático si se consideran los cambios en los rendimientos, con un aumento esperado de los ingresos de 12% en promedio. Mientras que si se considera sólo una reducción en la disponibilidad de agua, el impacto sería mínimo, con una reducción del ingreso de 1,3% en promedio. Esta diferencia se debe a que en el primer caso existen aumentos y disminuciones en los rendimientos (secano y regadío), mientras que en el segundo el impactos siempre es negativo.

Considerando sólo cambios en la disponibilidad de agua, los mayores impactos económicos se concentran sobre el sector de frutas con una disminución de 5% en los ingresos (promedio), siendo los productores de peras en la comuna de Ercilla los más afectados con un 15% de disminución en los ingresos. En el otro extremo se encuentran los productores Forestales de Negrete que ven aumentados sus ingresos en un 0,3%. Como se aprecia, los impactos económicos agregados del cambio climático son marginales, no obstante los efectos redistributivos son relevantes.

c) Residencial

Para la estimación de la demanda de agua de uso residencial, se utilizó como área de estudio la Octava Región del Biobío. Para esta región se cuenta con micro datos de consumo hogares proporcionados por la empresa sanitaria ESSBIO para el periodo 2007-2012. La estimación se realiza a través de un modelo de elección discreto/continuo, por el método de máxima verosimilitud. Dichos modelos consideran las dos decisiones de los consumidores, la primera una decisión discreta que corresponde al bloque donde consumir y la segunda una decisión continua condicionada a la decisión discreta, que cantidad de agua consumir. La incorporación de estas dos decisiones en la función de máxima verosimilitud es una de las mayores ventajas del modelo que lo diferencia de las formas comúnmente utilizadas de estimación.

Las variables explicativas consideradas en el proceso de estimación corresponden a: precio, ingreso, número medio de piezas en el hogar (sin considerar baño) por distrito, número medio de integrantes en el hogar por distrito, precipitaciones promedios mensual, y temperatura media mensual. Los resultados indican que el tamaño del hogar tiene, de acuerdo a lo esperado, relación positiva con la demanda de agua residencial, a mayor número de personas que viven en el hogar mayor es el consumo de agua, lo mismo sucede con la variable que indica el número de piezas. Con respecto a precio e ingreso, tienen los signos de acuerdo a la teoría económica, esto es, precio signo negativo lo que indica la relación inversa con la cantidad de agua residencial a demanda. El ingreso por su parte tiene signo positivo. En los resultados preliminares, no se observa que la demanda de agua residencial esté relacionada con las variables climáticas incorporadas.

d) Vulnerabilidad

Se desarrolló un análisis de vulnerabilidad social siguiendo las recomendaciones del IPCC (Schneider *et al.*, 2007). De acuerdo a este marco, la vulnerabilidad al cambio climático se define como:

“el grado en el cual los sistemas geofísicos, biológicos y socio-económicos son susceptibles e incapaces de abordar impactos adversos derivados del cambio climático”.

En este caso, impactos adversos en la disponibilidad de recursos hídricos en la cuenca del río Vergara. El análisis fue desarrollado analizando información secundaria sobre el impacto del cambio climático en la cuenca del río Vergara, y por medio de la realización de diversas entrevistas exploratorias a informantes claves dentro del territorio.

Es importante destacar que el concepto de vulnerabilidad al cambio climático es más amplio que el concepto de riesgo, que sólo combina la magnitud del impacto con la probabilidad de su ocurrencia. El concepto de vulnerabilidad busca capturar la incertidumbre en los procesos subyacentes al cambio climático, cuales son: exposición, impacto y adaptación.

La identificación de grupos y zonas vulnerables a los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos, se presenta como vulnerabilidad a eventos extremos, y como vulnerabilidad de acuerdo a los sistemas en riesgo.

Un primer grupo social que presenta vulnerabilidad, según casi todos los criterios, corresponde a las distintas comunidades mapuche, presentes casi exclusivamente en zonas de secano o valle de secano de la cuenca. En términos de magnitud, el problema abarca a unas 20.000 hectáreas y un número cercano a las 2.000 familias, obligando al Gobierno Regional a suplementar con más de US\$ 1 millón los presupuestos municipales del año 2013, con el fin de contratar camiones aljibes para abastecer de agua a distintas localidades rurales.

La persistencia de los impactos se puede dimensionar considerando una sequía que se prolongó entre 2003 y 2013. La verosimilitud y confianza de las estimaciones de reducción de precipitaciones en las próximas décadas, también contribuyen a la vulnerabilidad de este grupo, que no tienen otra fuente alternativa de agua y cuyo potencial de adaptación también está limitado por problemáticas de empobrecimiento, bajos niveles de escolaridad, migración y envejecimiento de la población.

A lo anterior, se suman los altos niveles de conflictividad en distintas zonas que bloquean la posibilidad de establecer acuerdos de cooperación a largo plazo. En términos distributivos, la sequía afecta negativamente la posibilidad de desarrollo de actividades ganaderas y fomenta la expansión forestal. Del mismo modo, hace recaer en las mujeres rurales una gran carga de trabajo en el aprovisionamiento de agua de fuentes alternativas. Finalmente, desde el punto de vista de sistemas en riesgo, la sequía afecta a cursos de agua desde los cuales se extraen plantas medicinales que conforman el sistema de salud tradicional mapuche.

Un segundo grupo vulnerable lo conforman las familias campesinas de colonos ubicados en la Cordillera de Nahuelbuta. Para estas familias, la magnitud del impacto de la sequía se puede dimensionar considerando que actualmente la municipalidad provee de agua potable a través de camiones aljibes, entre octubre y mayo de cada año. Esto se debe a que históricamente las familias obtenían agua de las vertientes, las que progresivamente se fueron secando durante esta década.

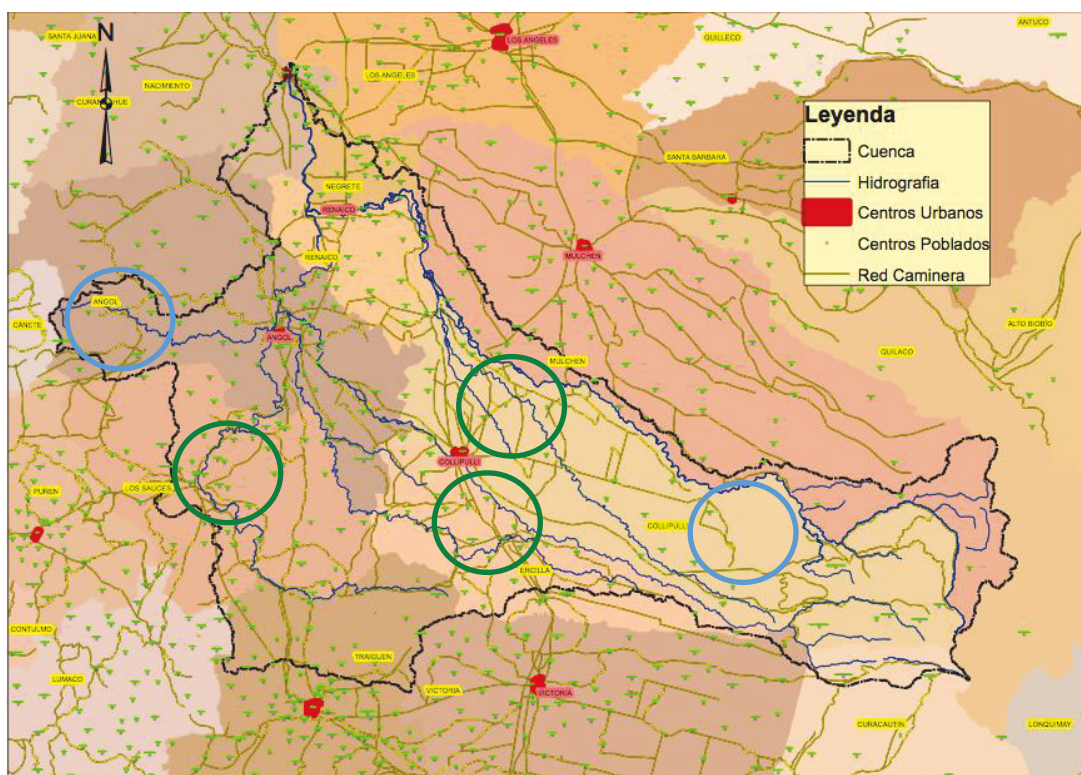
En el caso de los colonos, al igual que lo observado para las comunidades mapuches, el potencial de adaptación es bajo y por razones similares a las observadas en el caso de las comunidades mapuche. Es decir, edad, escolaridad y pobreza. Y aunque no existe un nivel de conflictividad que bloquee iniciativas de adaptación, los costos de accesibilidad son elevados, encareciendo las inversiones. De hecho, actualmente no hay servicio de transporte público, y los sistemas de telecomunicaciones tienen baja cobertura. La sequía tiene un impacto distributivo significativo, desde el momento que afecta críticamente al sistema ganadero.

Existen otros grupos vulnerables a eventos extremos, pero de menor significación. Por un lado, las familias que habitan el cajón del río Malleco y Renaico, históricamente han sido vulnerables a inundaciones, aunque la sequía haya vuelto poco probable tal opción. Por su parte, la sequía trae aparejada otra vulnerabilidad para las familias de colonos de la Cordillera de Nahuelbuta, cual es la probabilidad de incendios. Esto se explica por el hecho que estas localidades se encuentran en la zona de amortiguación entre el Parque Nacional Nahuelbuta y la zona de plantaciones forestales exóticas de grandes empresas.

Finalmente, en la precordillera andina los campesinos colonos son vulnerables a nevazones intensas cuya frecuencia ha crecido en las últimas décadas. Estas nevazones si bien no afectan la accesibilidad de modo crítico, si determinan una importante mortandad de animales por congelación e inanición, generando importantes efectos distributivos. La localización de los comunidades más vulnerables se presenta en el mapa 1, donde las zonas marcadas en verde corresponden a comunidades Mapuches, mientras que las zonas marcadas en azul, corresponden a comunidades de colonos.

En el cuadro 7 se presenta el detalle de los diversos eventos extremos asociados al cambio climático y los sectores más afectados por cada uno de los componentes, mientras que el cuadro 8 presenta la información por sistema en riesgo.

Mapa 1
Localización comunidades vulnerables



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los límites y los nombres que figuran en este mapa no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

Cuadro 7
Vulnerabilidad según eventos extremos

Eventos Extremos	Sectores más afectados para diferentes criterios (Magnitud, persistencia y reversibilidad, verosimilitud y confianza de estimaciones, potencial para adaptación. Importancia de sistemas en riesgo, aspectos distributivos)	Instrumentos de gestión de riesgo
Sequía	Comunidad Mapuche de valle seco y seco interior Comunidad de Colonos Nahuelbuta	Sector público Inversiones: APR, regadío, cisternas, canales, captación, cortafuegos, forraje, zonificación.
Inundación	Comunidad Mapuche Cajon río Malleco	Sector privado
Incendio	Comunidad de Colonos Nahuelbuta	Inversiones: AP, regadío, cisternas, canales, captación, cortafuegos.
Nevasón	Comunidad de Colonos Precordillera Andina	Contratos, seguros. Universidades y centros de investigación <i>Capacitación técnica y en gestión de riesgos</i> <i>Innovación social</i> <i>Educación ambiental</i>

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 8
Vulnerabilidad según sistemas en riesgo

Sistemas en riesgo	Sectores más afectados para diferentes criterios (Magnitud, persistencia y reversibilidad, verosimilitud y confianza de estimaciones, potencial para adaptación, importancia de sistemas en riesgo, aspectos distributivos)	Instrumentos
Disponibilidad de alimentos	Comunidad Mapuche de valle seco y seco interior	Sector público Inversiones: postas, CESFAM, APR,
Infraestructura	Comunidad Mapuche de valle seco y seco interior Comités APR valle seco y seco interior Asociaciones de canalistas Comunidad de Colonos precordillera Andina	Regadío, cisternas. Subsidios, Sector privado Inversiones
Salud	Comunidad Mapuche de valle seco	Contratos, seguros. Concesiones.
Recursos hídricos	Comunidad Mapuche de valle seco y seco interior CC Nahuelbuta	Universidades y centros de investigación Capacitación: técnica y gestión
Migración y conflictos	Comunidad Mapuche Ercilla NP Comunidad de Colonos Nahuelbuta Comunidad de Colonos precordillera Andina	

Fuente: Elaboración propia.

C. Instrumentos de gestión del riesgo y sus limitaciones

Según la oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR), se define la gestión de riesgos como:

“El enfoque y la práctica sistemática de gestionar la incertidumbre para minimizar los daños y las pérdidas potenciales”.

Lo anterior considera que la gestión del riesgo considera la evaluación y el análisis del riesgo, así como la ejecución de estrategias específicas para controlar, reducir y transferir el riesgo (UNISDR 2009).

Por otro lado, los instrumentos de gestión del riesgo son herramientas de política, pública y privada, que permiten reducir la vulnerabilidad de los sectores afectados por la variabilidad y el cambio climático, modificando las causas o los efectos del riesgo. Según el Programa de Naciones Unidas Para el Desarrollo (UNDP), El enfoque de gestión de riesgos climáticos debe considerar dos tipos de riesgo: 1) riesgos provocados por la variabilidad del clima actual, y 2) riesgos asociados a la proyección de las trayectorias del cambio climático (UNDP, 2010).

En este contexto, la gestión del riesgo debe considerar en su eje central a aquellos sectores para los cuales la variabilidad climática es determinante para su desarrollo, como por ejemplo: agricultura, seguridad alimentaria, y salud. Así, la gestión y la prevención de los riesgos no solo implica desarrollar acciones que mitiguen las consecuencias del cambio climático, sino que además debe tener como elemento estructurante la generación y fortalecimiento de capacidades (nacional, regional, y local) que permita hacer frente a los desafíos que impone la variabilidad climática.

Por otro lado, de las diversas líneas de acción que considera la gestión de riesgos, este documento se centra particularmente en: prevención y reducción del riesgo, y protección financiera (UNDP, 2010).

Desde el punto de vista de la toma de decisiones (pública y privada), los instrumentos necesarios para reducir el riesgo asociado al cambio climático han sido ampliamente aplicados en otros contextos. Así, por ejemplo en lo relativo a la prevención y reducción del riesgo, algunos instrumentos de política pública para reducir el riesgo podrían incluir: Inversiones en infraestructura (riego, salud, educación), Capacitación (técnica y de gestión), e Instrumentos de ordenamiento territorial, entre otras. Por otro lado, en cuanto a la protección financiera, algunos instrumentos de gestión del riesgo podrían incluir:

contratos, seguros, créditos contingentes, y fondos de reserva, entre otros. En el cuadro 9 se presenta un resumen de la relación entre sistemas en riesgo, sectores afectados, e instrumentos para gestionar dichos riesgos en el contexto del proyecto eec2.

Cuadro 9
Instrumentos de gestión de riesgo

Sistemas en riesgo	Sectores más afectados para diferentes criterios (Magnitud, persistencia y reversibilidad, verosimilitud y confianza de estimaciones, potencial para adaptación. Importancia de sistemas en riesgo, aspectos distributivos)	Instrumentos ^a
Disponibilidad de alimentos	Comunidad Mapuche de valle seco y seco interior	Sector público Inversiones: postas, CESFAM, APR, Regadío, cisternas.
Infraestructura	Comunidad Mapuche de valle seco y seco interior Comités APR valle seco y seco interior Asociaciones de canalistas Comunidad de Colonos precordillera Andina	Subsidios, Sector privado Inversiones
Salud	Comunidad Mapuche de valle seco	Contratos, seguros. Concesiones.
Recursos hídricos	Comunidad Mapuche de valle seco y seco interior Comunidad de Colonos Nahuelbuta	Universidades y centros de investigación Capacitación: técnica y gestión
Migración y conflictos	Comunidad Mapuche Ercilla Comunidad de Colonos Nahuelbuta Comunidad de Colonos precordillera Andina	

Fuente: Elaboración propia.

^a APR: Agua Potable Rural; CESFAM: Centro de Salud Familiar.

Para que las recomendaciones de la tabla anterior se puedan aplicar, es necesario que existan condiciones institucionales que fomenten dicha aplicación. Sin embargo, las condiciones institucionales no se registran en todas las circunstancias. Un caso que representa lo anterior es la cuenca del río Vergara.

En la cuenca del río Vergara no existe espacio para la aplicación de los instrumentos clásicos, al menos económicos, para la gestión de riesgo. Lo anterior, debido a que las condiciones sociales-económicas-ambientales hacen inviable la operación de dichos instrumentos. Un ejemplo de lo anterior se puede apreciar en lo relativo a la generación de marcos normativos para la prevención y/o disminución del riesgo, como puede ser el establecimiento de un mercado de agua. El establecimiento de mercados de derechos de agua es una solución clásica al problema de asignación del recurso. Existe evidencia teórica y empírica que muestra que bajo la operación de un mercado de derechos de agua, esta será asignada a su uso más valioso, incrementando con esto el bienestar de los usuarios, y disminuyendo la vulnerabilidad del sistema (sin consideraciones redistributivas). Sin embargo, y a pesar de las promesas teóricas, dicha solución no es factible de aplicar en el territorio debido al alto grado de precariedad social, económica e institucional, a lo que se suma el contexto cultural donde los instrumentos de mercado no están arraigados.

Por otro lado, con respecto al establecimiento de instrumentos de protección financiera, en la cuenca bajo estudio se evidencia una penetración muy débil de los seguros agrarios, lo que aumenta la vulnerabilidad de los pequeños agricultores a la variabilidad climática, y sobre todo a los eventos extremos. Así, dentro de los instrumentos de protección financiera, el rol principal lo juega el sector público por medio del otorgamiento de créditos contingentes bajo condiciones preferenciales de interés. No obstante lo anterior, en este caso el instrumento de gestión de riesgo es reactivo a la ocurrencia del evento, lo que aumenta la precariedad de los usuarios.

En el caso particular de la cuenca del río Vergara, los sectores económicamente más vulnerables al cambio climático lo componen los productores frutícolas, ya que serán estos los que verían reducir en mayor proporción sus ingresos. Lo anterior es determinado asumiendo que los agricultores toman

decisiones basados únicamente en un criterio optimizador. No obstante las decisiones agrícolas, sobre todo en los pequeños agricultores, no están basadas exclusivamente en criterios económicos, incluyendo otros como aspectos culturales y patrimoniales. Por otro lado, el modelo económico no garantiza que las recomendaciones asociadas principalmente a decisiones de cultivo, sean factibles desde el punto de vista social y/o cultural. Así, en este caso, su base o fundamento en decisiones solamente sobre la arista económica genera un sobredimensionamiento de la capacidad de adaptación, llevando a subestimar los costos económicos del cambio climático.

Dado lo anterior, creemos que para la identificación y aplicación de instrumentos de gestión de riesgo, es necesario integrar las diversas dimensiones tendiendo a evaluaciones multimétricas, donde el componente económico es un componente más de la decisión, pero no el único. De esta forma se estaría avanzando hacia un “Sistema Integrado de Gestión de Riesgo Para la Toma de Decisiones”. Los requisitos de dicho sistema serían:

- Integración de dimensiones físico-ambientales con dimensión socio-económica.
- Considerar el rol de capacidades sociales de adaptación y respuesta para reducir el riesgo.
- Evaluación cuantitativa, incluyendo la monetaria, de los riesgos y de los beneficios de reducción de riesgo.
- Encontrar soluciones que tomen en cuenta distintas fuentes de incertidumbre.

D. Propuesta

Tal como fue establecido en la sección anterior, los instrumentos para la gestión del riesgo han sido ampliamente estudiados y aplicados, sobre todo para la gestión de desastres naturales. En lo relativo a la prevención de riesgos, si bien el sector público puede aportar por medio de inversiones (básicamente infraestructura), su rol fundamental es por medio del establecimiento de normativas y planes que entreguen los incentivos correctos al sector privado para proveer las inversiones necesarias para reducir riesgos. Dado lo anterior se requieren alianzas público-privadas para una gestión eficiente de riesgos.

Por otro lado, y con respecto a los instrumentos de protección financiera, es aquí donde el sector privado debe jugar un rol fundamental. Instrumentos económicos para protección financiera han sido ampliamente usados sobre todo en el sector agrícola, ya sea como seguros, subsidios, ó créditos contingentes.

No obstante lo anterior, y como fue señalado en secciones precedentes, antes de definir el uso de un instrumento de gestión de riesgo, es necesario realizar un detallado análisis económico, social, e institucional, del área sobre la cual se quiere intervenir. Analizando la vulnerabilidad de los grupos en riesgo por medio de medidas multimétricas, donde el componente económico sea uno más sobre el cual se base la decisión. Lo anterior, podría llevar a que los principales instrumentos de gestión del riesgo estén dados por la construcción de capacidades a escala local, de tal forma de informar a las comunidades sobre los riesgos a los que están expuestos, y construir desde el territorio la mejor forma de intervención.

Una de las dificultades que hemos encontrado en el marco del proyecto eec2 para poder aplicar las recomendaciones antes expuestas, es la falta de conocimiento previo sobre la situación de riesgo del territorio. Algunas acciones para cerrar esa brecha incluye:

- Elaboración de escenarios de cambio climático regionalizados, con estimaciones de mediano plazo (20-30 años).
- Formulación de modelo hídricos que relacionen diversos escenarios de cambio climático con disponibilidad de agua, tanto en lo referido a cantidad como a calidad.
- Caracterización agroecológica del territorio a escala sub-predial, de tal forma de poder estimar en detalle su potencial productivo.

- Elaboración continua de encuestas sociales y productivas, a pequeños y grandes productores, de tal forma de actualizar constantemente, por medio de una muestra, la información contenida en los CENSOS Agropecuarios y las encuestas familiares.

Una vez cerrada la brecha de información, se podrían estudiar algunos de los siguientes tópicos:

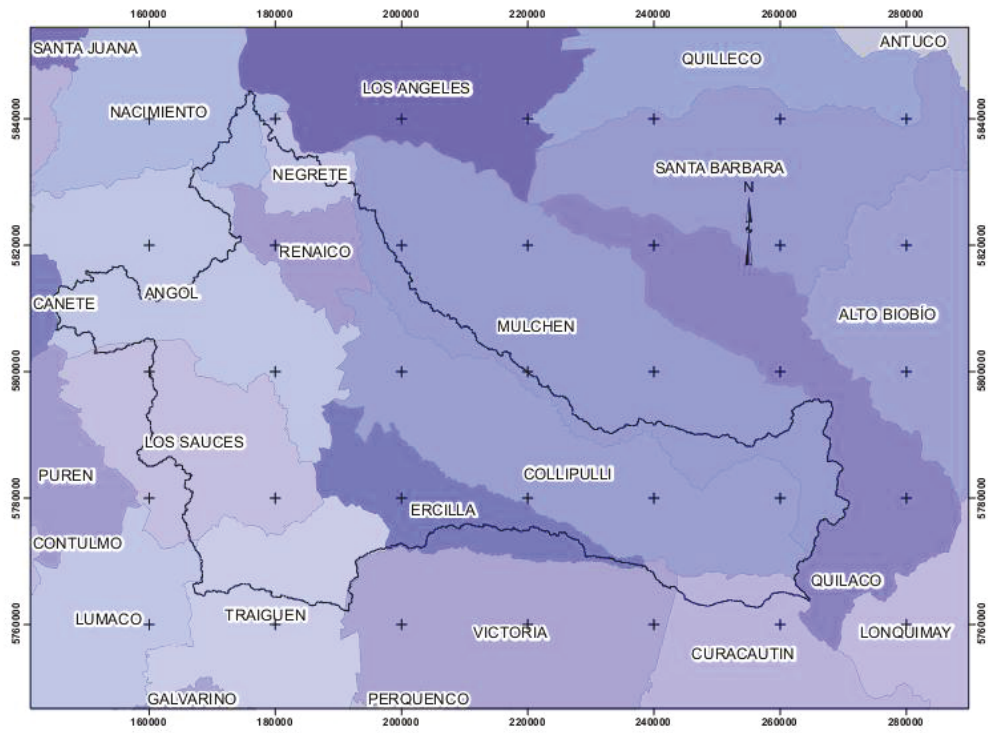
- “Vulnerabilidad, Cambio Climático y Equidad Ambiental”. Analizar cómo se distribuyen los impactos del cambio climático entre los diversos grupos dentro del territorio.
- “Vulnerabilidad de las Comunidades Indígenas al Cambio Climático”. Analizar como el cambio climático amenaza la herencia cultural de las comunidades indígenas, con foco en sistemas productivos y prácticas culturales.
- “Género y Adaptación al Cambio Climático”.
- “Valoración Económica del Riesgo Climático: Un enfoque Multimétrico”. Analizar el cambio climático considerando las dimensiones sociales, ambientales y económicas, con el objetivo de definir opciones de adaptación robustas.
- “Formulación de Instrumentos de Gestión de Riesgos Climáticos para Pequeños Agricultores”. Definir instrumentos de gestión diferenciados por tamaño y naturaleza del productor.
- “Eficiencia Económica del Actual Sistema de Seguros Agrarios”. Analizar el mercado de seguros agrarios y definir las causales de la baja penetración.

Bibliografía

- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S. & Williams, J. R. (1998) Large area hydrologic modeling and assessment - Part I: model development. *JAWRA* 34(1), 73-89.
- EULA. (2004). Antecedentes para la estimación del caudal disponible para diluir en el río Vergara, Universidad de Concepción, Chile.
- Field, C. B., *et al.* (2014). "Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability." Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Navarro R. (2006). Modelamiento para la evaluación del impacto económico de la implementación de la norma secundaria de calidad de aguas bajo diferentes escenarios climáticos en la cuenca del río Biobío.
- ODEPA 2000, Clasificación de las explotaciones agrícolas del VI Censo Nacional Agropecuario según tipo de productor y localización geográfica. Chile.
- Ponce, R., Blanco, M., Giupponi, C. "The economic impacts of climate change on the Chilean agricultural sector. A non-linear agricultural supply model." *Chilean Journal of Agricultural Research* 74(4) October-December 2014.
- Santibáñez, F., P. Santibáñez, R. Cabrera, L. Solís, M. Quiroz, y J. Hernández. 2008. Capítulo I. Resumen Ejecutivo. Impactos productivos en el sector silvoagropecuario de Chile frente a escenarios de cambio climático. In *Análisis de vulnerabilidad del sector silvoagropecuario, recursos hídricos, edáficos de Chile frente a escenarios de cambio climático*. Centro de Agricultura y Medioambiente (AGRIMED), Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Schneider, S.H., S. Semenov, A. Patwardhan, I. Burton, C.H.D. Magadza, M. Oppenheimer, A.B. Pittock, A. Rahman, J.B. Smith, A. Suarez and F. Yamin, 2007: Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 779-810.
- Stocker, T. F., *et al.* (2013). "Climate change 2013: The physical science basis".
- UNDP (2010). "Gestión del Riesgo Climático". Buró de Políticas de Desarrollo / Grupo de Energía y Medio Ambiente. <http://www.undp.org/content/dam/undp/library/crisis%20prevention/disaster/Reduccion-Gestion%20del%20Riesgo%20Climatico.pdf>.
- UNISDR (2009). "Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres".

Anexo

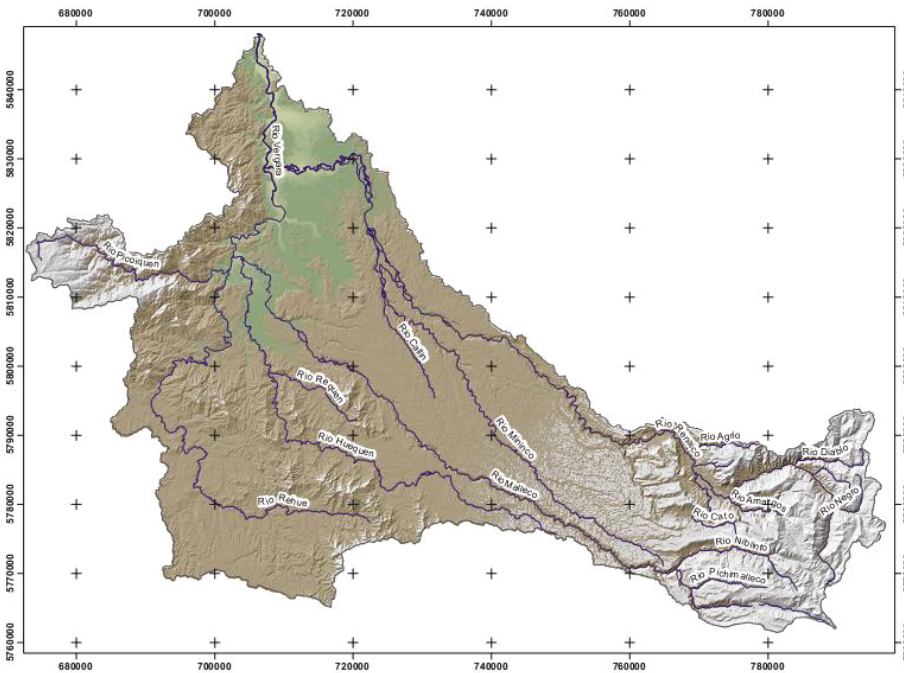
Mapa A.1
Localización cuenca río Vergara



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los límites y los nombres que figuran en este mapa no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

Mapa A.2
Principales tributarios cuenca



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los límites y los nombres que figuran en este mapa no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

IV. Instrumentos económicos para la adaptación a la variabilidad y el cambio climático en los sistemas urbanos de agua¹²

*Sebastián Vicuña¹³, Marina Gil¹⁴,
Oscar Melo^{12 y 13} y Guillermo Donoso^{12 y 13}*

A. Introducción: cambio climático y riesgo de suministro de agua en contexto urbano

La seguridad hídrica en un contexto urbano se entiende como la posibilidad de suplir con la cantidad y calidad adecuada de agua los diferentes medios de vida, desarrollos productivos y ecosistemas que conviven en un contexto urbano, así como también la posibilidad de evitar los riesgos asociados a eventos extremos y contaminación hídrica. Las distintas ciudades del mundo tratan de proveer esta seguridad hídrica a través de sistemas de gestión e infraestructura que permiten la producción, distribución, recolección y posteriormente tratamiento de aguas una vez utilizadas, así como también obras que impiden que los excesos de agua generen impactos negativos en inmuebles y en la calidad de vida de los habitantes. Típicamente las ciudades de países más desarrollados son las que logran este desafío de mejor manera, a través de sistemas de aguas urbanas que son capaces de manejar de manera adecuada las faltas y excesos de agua asociados a la variabilidad climática.

¹² Este trabajo fue preparado en el contexto del Seminario Taller: “Recursos Hídricos bajo incertidumbre y riesgo al cambio climático: Herramientas para los tomadores de decisión de los sectores público y privado” organizado por CEPAL y IDRC los días 29 y 30 de octubre de 2014 en Santiago de Chile.

¹³ Centro de Cambio Global UC, Pontificia Universidad Católica de Chile.

¹⁴ Departamento de Economía Agraria, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Concentrándonos en el aspecto de suministro de agua, las ciudades más seguras hídricamente han desarrollado múltiples fuentes de suministro, con infraestructuras de almacenamiento y distribución que se desarrollan a través de diversos modelos institucionales desde empresas públicas, municipales a concesiones privadas. Cuando existen los correctos incentivos de inversión y operación en la mayoría de estas ciudades esta combinación de infraestructura física y estándares de inversión y operación, permiten responder a diversas condiciones climáticas a costos razonables. Este es el caso de la ciudad de Santiago de Chile que como se describe en una sección posterior es un ejemplo de un sistema sanitario que ha permitido llegar a coberturas importantes de servicio en muchos casos solo interrumpido por situaciones excepcionales asociadas a terremotos o falla de infraestructura, pero pocas veces fallando por falla en fuente de suministro.

Sin embargo, incluso en el contexto de países desarrollados y especialmente en las ciudades del mundo en desarrollo, el cambio climático implica una nueva amenaza que atenta contra las posibilidades de proveer seguridad hídrica. Esta amenaza puede asociarse al efecto que un aumento en temperatura o reducción en precipitaciones tenga sobre la disponibilidad de agua en los cauces naturales, o a un aumento en la demanda, o un cambio en la frecuencia de eventos extremos que pueden generar impactos en la infraestructura de distribución u otros componentes claves del sistema de aguas urbanas entre otros. Trabajos como Major *et al.* (2011) y Revi *et al.* (2014) dan cuenta de todos estos posibles impactos.

Un gran número de ciudades está empezando a diseñar estrategias de adaptación a estos posibles impactos desde distintas perspectivas: oferta de agua, patrones de consumo y demanda de agua, infraestructura, planificación territorial, etc. Sin embargo, todos estos procesos se enfrentan típicamente con dificultades importantes para poder tomar las decisiones adecuadas respecto a qué medidas implementar. Una de las principales es la gran incertidumbre respecto a los escenarios futuros que existirían en un lugar determinado. El alto nivel de incertidumbre, pese a los altos riesgos asociados con distintos escenarios, genera problemas de posible sub o sobre-inversión. En el caso de que exista sub-inversión la ocurrencia de eventos extremos puede afectar la seguridad hídrica aumentando el costo de asegurar el suministro de agua en estos casos con efectos sobre las tarifas que son pagadas por los múltiples usuarios al interior de una ciudad con posibles impactos negativos de no mediar subsidios en aquellos usuarios de condiciones económicas más precarias o vulnerables donde el pago por servicios pasa a ser un componente importante del presupuesto familiar. En el caso de una sobre-inversión también existe un mayor costo que podría no justificarse si es que la decisión de inversión se toma en base a un escenario negativo que se manifieste solo en una fracción muy extrema de las posibles condiciones futuras. Por otro lado, incluso si se pudiera resolver de manera factible el problema de la incertidumbre en los escenarios (algo imposible para algunos, como se deduce de revisión de Kiparsky *et al.*, 2012) si se considera la naturaleza a largo plazo del problema de cambio climático, el simple uso de tasas de descuento para traer a valor presente posibles beneficios por reducción de impactos futuros impediría la inversión actual¹⁵.

Tomando en cuenta estas condiciones, resulta complejo justificar acciones proactivas (anticipatorias) de adaptación al cambio climático, ya que las consecuencias van a incidir en tarifas que pueden ser altas. Por otra parte, si no existiese un impacto en tarifas no existirían los incentivos correctos de parte de los consumidores para ajustar demandas o patrones de consumo a una situación que puede ser compleja de manejar en el futuro.

Tomando el caso de la ciudad de Santiago, este artículo presenta una serie de instrumentos económicos de adaptación a los impactos del cambio climático que pretenden resolver la compleja consideración de los distintos escenarios. Estos instrumentos pretenden resolver problemas de suministro de agua a través de instrumentos de gestión que permitirían reducir los impactos del cambio climático. La implantación de estos instrumentos también influye en las decisiones de inversión en infraestructura en la medida que sean capaces de reducir impactos futuros en seguridad hídrica y reducir los beneficios asociados a este tipo de obras.

¹⁵ Considerar por ejemplo que a una tasa de 6% un valor de 100 que ocurre 15 años en el futuro vale hoy solo 41. El valor baja a 17 si el horizonte es de 30 años. Los valores en el caso de que la tasa fuese del 12% serían de 18 y 3 para los horizontes de 15 y 30 años respectivamente.

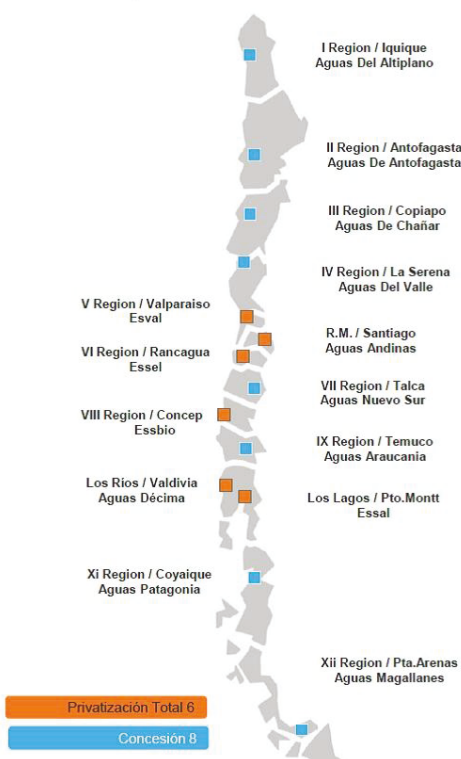
El trabajo se estructura primero presentando el modelo del sistema de suministro de agua potable en Chile, entrando en mayor detalle en la descripción del caso de Santiago y los posibles impactos que tendría la ocurrencia de eventos extremos producto del cambio climático en el suministro de agua. Después se presentan los instrumentos económicos que se proponen en este trabajo, cerrando el documento con algunas conclusiones y lecciones de política pública.

B. Caso de estudio: suministro de agua potable en Santiago de Chile

1. Suministro de agua en Chile: el sistema tarifario y su relación con el costo de las medidas

Para contextualizar el sistema de suministro de agua potable en Chile, hay que entender cuál ha sido su evolución y qué características fundamentales han ido dando pautas al funcionamiento del mismo. Durante la década de los ochenta, el sector de agua potable y saneamiento en Chile estaba dominado por los servicios de abastecimiento de agua estatal, mientras que la inclusión de los operadores privados se inició a finales de esta década, en 1988. En la actualidad seis regiones en Chile cuentan con servicios sanitarios completamente privatizados y ocho regiones con servicios sanitarios concesionados. Es así como al año 2014, 95,5% de los clientes son atendidos por empresas privadas (véase el mapa 2).

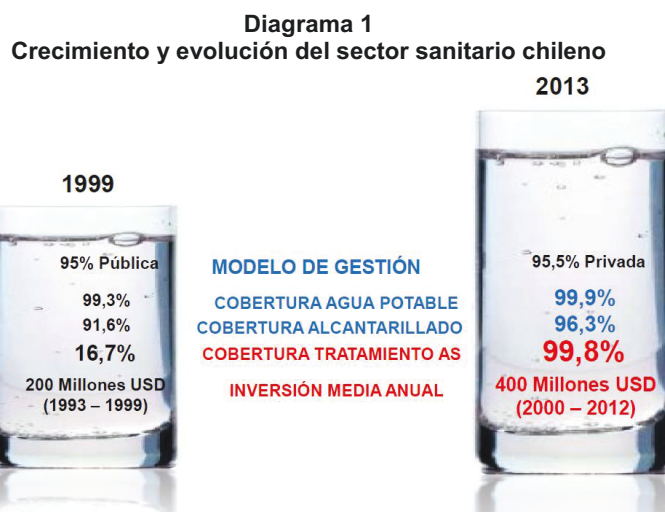
Mapa 2
Sector sanitario chileno



Fuente: SISS (2013).

Nota: Los límites y los nombres que figuran en este mapa no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

Otro factor importante, estrechamente ligado con el diseño de instrumentos económicos de adaptación al cambio climático es lo relacionado con la cobertura de abastecimiento en sectores urbanos, en 1997 ésta era de 99,3%, y se proveía a través de operadores propiedad del estado (véase diagrama 1). Además, el 91,6% de la población urbana tenía acceso a la colección de alcantarillado y se trataba sólo el 16,7% de las aguas residuales. La cobertura urbana de agua potable se incrementó a un 99,9% con una provisión mayoritariamente por parte de empresas privadas. El cambio más significativo fue en la cobertura de tratamiento de aguas servidas, la que aumentó en un 83% en dicho período, alcanzando una cobertura del 99,8%.



Fuente: SISS (2013).

El marco legal sobre el cual se basa la operación de las empresas sanitarias data de 1988 y sus características deben ser consideradas a la hora de diseñar cualquier medida de adaptación. Algunas de las más determinantes para este fin son: i) Separación el rol del regulador del rol de proveedor del servicio; ii) Fijación de tarifas eficientes que permiten el autofinanciamiento de los operadores; y iii) Establecimiento de un subsidio estatal a familias de menores ingresos, que asegura su accesibilidad al servicio.

Además, el Decreto 1199-2005 del Ministerio de Obras Públicas establece el reglamento de las concesiones sanitarias de producción y distribución de agua potable, y de recolección y disposición de aguas servidas, y de las normas sobre calidad de atención a los usuarios de estos servicios. En dicho marco legal, la Concesión consiste en un derecho exclusivo entregado a un operador para el otorgamiento de los servicios sanitarios en un área urbana determinada. Es así como, el titular de la concesión debe entregar un servicio en forma continua y de calidad, ajustarse al régimen tarifario y ejecutar planes de inversiones. Dicho plan de inversiones establece los requerimientos de inversión para hacer frente a los aumentos de demanda, asegurando la continuidad y calidad del servicio. Estos últimos puntos determinan los estándares de calidad que deben ser cumplidos en cuanto a seguridad hídrica y por tanto van a determinar los valores que deben mantenerse para que no se produzcan impactos económicos mayores o pérdidas de bienestar.

A su vez, el rol del Estado es de regulador y fiscalizador de los operadores, tanto estatales como privados, a través de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), que se efectúa por medio de los siguientes instrumentos: i) otorgamiento de concesiones; ii) fiscalización del cumplimiento del plan de desarrollo establecido por el operador; iii) fijación de tarifas eficientes que aseguran el autofinanciamiento, y la fiscalización de la continuidad y la calidad del servicio¹⁶. Además, la SISS aplica multas a los

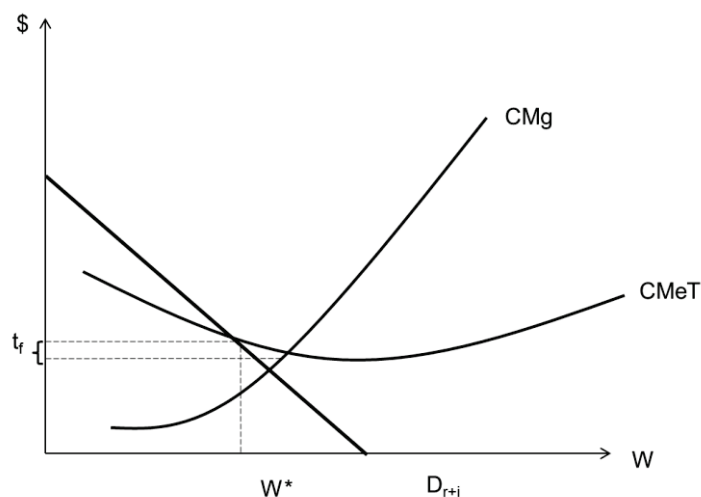
¹⁶ El Ministerio de Salud se preocupa de vigilar la calidad del agua en los servicios sanitarios que no están bajo la jurisdicción de la SISS y también oficializa las normas de calidad de las aguas.

operadores en caso de que se produzcan situaciones como deficiencias calidad o continuidad servicios, daños en redes de abastecimiento, infracciones que pongan en peligro la salud población, o no cumplimiento plan de desarrollo. Los costos de muchas de las medidas implementadas, como pueden ser aquellas medidas estructurales, se ven reflejados en las tarifas. Por ello que es importante definir cuáles son los objetivos del modelo tarifario chileno:

- Financiar los costos de operación, mantenimiento, y las necesidades de inversión y reposición del operador.
- Financiar un margen de explotación del negocio consistente con el costo alternativo del capital para los operados privados.
- Incentivar ganancias de eficiencia en la provisión del servicio sanitario; y
- Lograr que las ganancias de eficiencia se traduzcan en menores tarifas para los clientes.
- Proveer una señal de precios adecuada para el uso racional del recurso.

Los niveles de tarifas para cada concesionaria se determinan cada 5 años. Las tarifas se fijan en base a la solución de Coase de tarifas múltiples o en dos partes. Es así como la tarifa (t) se descompone en una tarifa fija y una variable (τ) (véase el gráfico 12). La tarifa variable se fija de manera de lograr un óptimo de Pareto; formalmente, la tarifa variable se fija con el objetivo de igualar el valor que asignan los consumidores a la última unidad consumida (valoración marginal) con el costo de producir dicha unidad (costo marginal). Sin embargo, como se desprende de el gráfico 12, este nivel de tarifa no cubre los costos medios totales, por lo que la empresa sanitaria operaria con pérdidas. Por ende, se establece una tarifa fija para cubrir los costos medios de largo plazo, satisfaciendo el objetivo de financiar un margen de explotación del negocio consistente con el costo alternativo del capital para los operadores privados. La tarifa fija corresponde a la diferencia entre la tarifa (t) y la tarifa variable (τ).

Gráfico 12
Fijación de tarifas para los operadores de servicios sanitarios



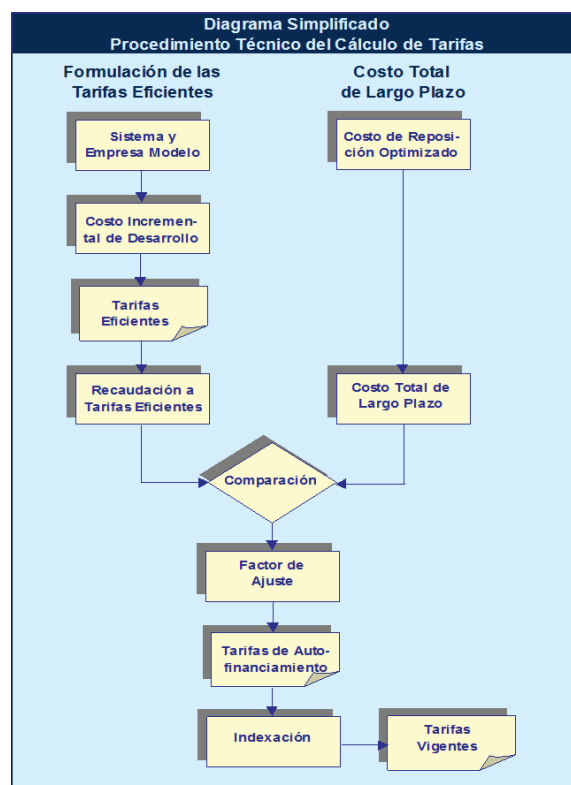
Fuente: Elaboración propia.

El esquema tarifario busca simular un mercado competitivo, con una libre entrada de competidores al mercado. El objetivo final de la aplicación de este concepto es llegar a costos eficientes de los operadores del servicio sanitario. Esto se logra al fijar las tarifas para una empresa modelo. En el DFL N° 70, artículo 8, que es la base para estimar los costos involucrados en la determinación de las fórmulas tarifarias, se define una empresa modelo del sector sanitario como una empresa prestadora de servicios sanitarios diseñada con el objeto de proporcionar en forma eficiente los servicios requeridos

por la población, considerando la normativa y reglamentación vigente y las restricciones geográficas, demográficas y tecnológicas en las cuales deberá enmarcar su operación. Esta empresa modelo corresponde a una empresa sin activos, que debe realizar las inversiones necesarias para prestar su servicio, y elabora un plan de desarrollo de inversiones. Parte de las inversiones que debe realizar la empresa corresponde a la compra de derechos de agua para satisfacer la demanda de sus clientes. Ya que nos enfrentamos a una demanda creciente por el recurso y en algunos casos a una menor disponibilidad, es esperable que el precio de esos derechos sea cada vez mayor. Como las tarifas eficientes cubren los costos de corto plazo, no se generan los incentivos para que el operador realice las inversiones para asegurar la continuidad del servicio y hacer frente a los aumentos de demanda. El plan de desarrollo establece un programa de inversión óptima que asegura que el operador se adapte a su tamaño óptimo; esto sería equivalente a que se fijaran las tarifas para cubrir los costos marginales de largo plazo. Dado que la empresa real enfrenta un escenario de precios predeterminados por un periodo de 5 años, tiene incentivos para ser eficiente, dado que obtiene las rentas por sobre lo que habría obtenido el modelo de empresa eficiente.

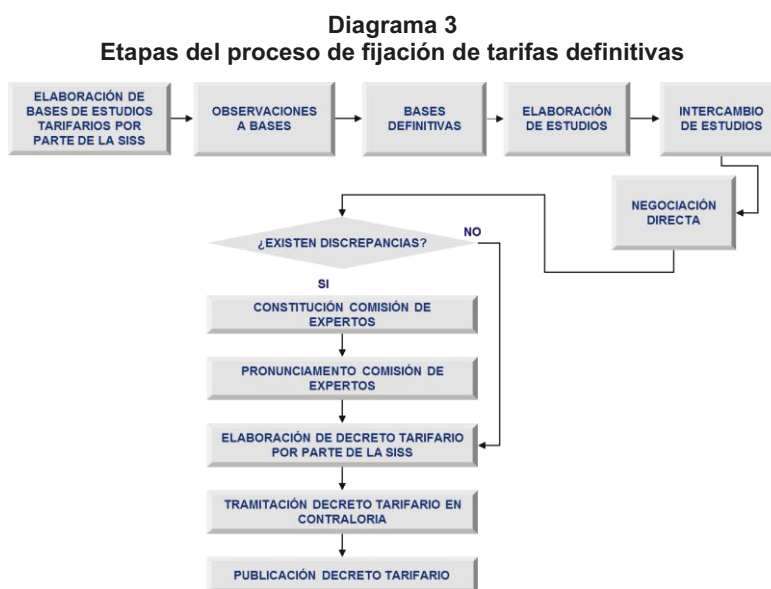
A partir de la empresa modelo, se realiza el cálculo de tarifas para el siguiente quinquenio (véase el diagrama 2), en base al cálculo del costo incremental de la empresa modelo. El costo incremental de desarrollo es aquel valor equivalente a un precio unitario constante que, aplicado a la demanda incremental proyectada, genera los ingresos requeridos para cubrir los costos incrementales de explotación eficiente y de inversión de un proyecto de expansión optimizado del operador (artículo 4, DFL N°70 MOP). Luego de calcular las tarifas eficientes, se compara la recaudación con los costos totales de largo plazo. En el caso que las tarifas no cubran estos costos, se aplica un factor de ajuste de manera que las tarifas permitan a los operadores autofinanciarse.

Diagrama 2
Etapas del proceso técnico de tarificación en base a la empresa modelo



Fuente: SISS (2003).

El procedimiento indicado anteriormente, lo realiza la autoridad (SISS) y el operador de la sanitaria siguiendo las bases establecidas por la SISS el año antes del vencimiento de las tarifas. Si existen discrepancias entre las tarifas propuestas por la SISS y la empresa sanitaria, ambas partes tienen un plazo de 30 días para presentar en lo que no se está de acuerdo. De seguir habiendo discrepancias entre las empresas reguladas y la SISS, se recurre a un panel de expertos; este panel consta de tres peritos: uno elegido por la SISS, otro por la empresa concesionada y el tercero por ambos. La decisión tomada por este panel es definitiva y ellos determinan las tarifas finales (véase el diagrama 3).



Fuente: SISS (2003).

Al final del proceso, se establece la tarifa fija, tarifa variable en período no-punta, tarifa variable en período punta, tarifa variable de sobreconsumo en período punta, la tarifa variable por el servicio de alcantarillado y la tarifa variable de saneamiento. En los meses de verano, en los cuales sube la demanda de agua, se establece una tarifa variable por el sobreconsumo. El sobreconsumo se define como el volumen de agua (m³) consumidos por sobre el promedio de los consumos mensuales entre abril y noviembre de cada año. Las tarifas variables en período punta y de sobreconsumo en período punta se fijan con el objetivo que el consumidor internalice los mayores costos asociados a la provisión del servicio durante el período estival. Dichas tarifas están basadas en el esquema de tarificación *peak load pricing*. Esta distinción en las tarifas es eficiente desde la óptica de la asignación de recursos, en la medida en que las demandas en los períodos de alta tiendan a financiar los requerimientos de capacidad.

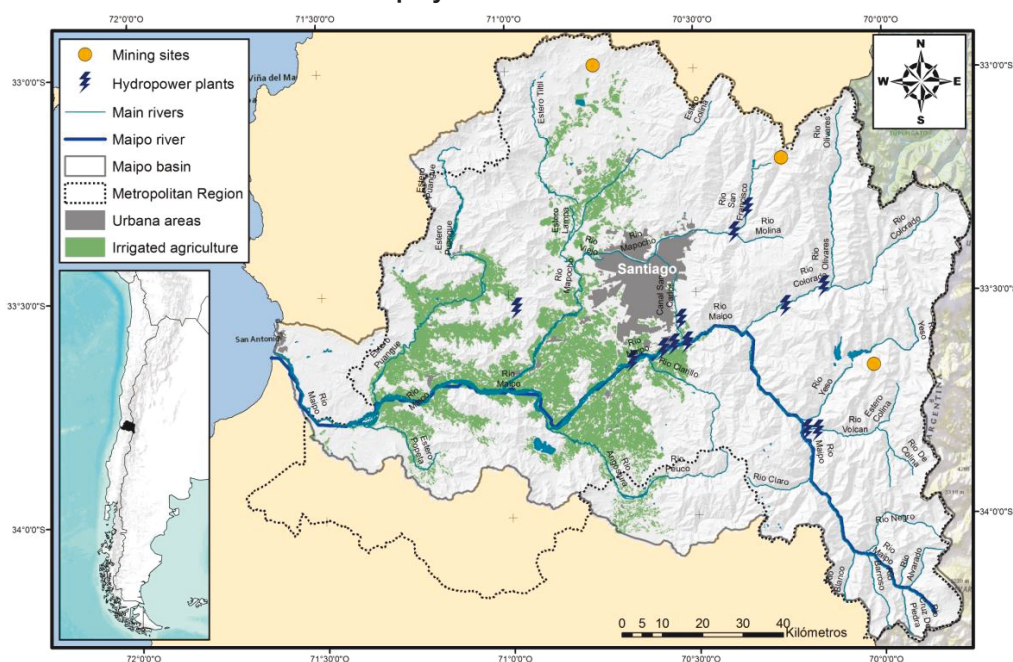
Como se señaló anteriormente, el operador del servicio sanitario debe garantizar la continuidad y la calidad de los servicios. Sin embargo, el Artículo 35° del DFL 382 del Ministerio de Obras Públicas establece que la continuidad y la calidad de los servicios sólo podrán ser afectadas por causa de fuerza mayor. En el evento que la falta de provisión de agua se debiera a fuerza mayor, y los operadores se ven obligados a suscribir contratos de provisión de la misma, se establecerán nuevas tarifas que incorporen el efecto de este mayor costo. Las nuevas tarifas regirán mientras no se supere la fuerza mayor.

No existe claridad en los reglamentos que rigen este sistema cuales son las razones que gatillan un evento de fuerza mayor. Es posible argumentar que un evento climático inesperado pueda ser considerado un evento de fuerza mayor en cuyo caso su ocurrencia podría gatillar un alza en costos fijos por parte del operador que finalmente incidirían también en un alza en tarifas. Estos supuestos son claves en la formulación de nuestras propuestas tal como se presenta a continuación.

2. Suministro de agua en la ciudad de Santiago y posibles impactos del cambio climático

Santiago es la ciudad con mayor población en Chile concentrando además gran parte de su riqueza. Ubicada a los pies de la Cordillera de Los Andes, Santiago es el hogar de casi 7 millones de personas produciendo cerca del 40% del PIB del país. La principal fuente de suministro de agua a estos habitantes e industrias y otros usuarios ubicados en el casco urbano es el río Maipo seguido por el río Mapocho y acuíferos ubicados debajo de la ciudad. Tanto el río Maipo como el Mapocho poseen un régimen hidroclimático típico de una zona cordillerana semi-árida. Esto implica una alta variabilidad en la ocurrencia de precipitaciones en el invierno y concentración de la disponibilidad de agua de manera natural durante los meses de primavera y verano, una vez ocurrido el deshielo de la nieve acumulada en la cordillera. Casi un 90% de la población de la ciudad de Santiago se abastece a través de la empresa privada Aguas Andinas, administradora de esta concesión y de las obras de infraestructura que la componen. El otro 10% se abastece a través de una empresa municipal llamada Servicio Municipal de Agua Potable Alcantarillado que opera principalmente en el municipio de Maipú. La ciudad de Santiago comparte recursos hídricos con otros usuarios importantes en la cuenca del río Maipo, en particular con el sector agrícola que con cerca de 140.000 has regadas de cultivos de alto valor (frutas y hortalizas) es el principal consumidor de agua. También existe en la cuenca un uso de agua para generación hidroeléctrica, producción de cobre y actividades turísticas y recreativas (véase el mapa 3).

Mapa 3
Cuenca del río Maipo y sus usuarios de recursos hídricos



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los límites y los nombres que figuran en este mapa no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

Pese a que el sistema de agua potable de Santiago ha sido diseñado para mantener altos niveles de servicio (en términos de continuidad y calidad), está sujeto a importantes amenazas como consecuencia de la variabilidad y el cambio climático y también debido al crecimiento poblacional que experimenta. Con respecto a los primeros efectos, la cuenca del río Maipo sufre los impactos esperables del cambio climático como en otras cuencas cordilleranas y semi-áridas. Evaluaciones como la llevada a cabo por Meza *et al.* (2014) indican que el cambio climático podría reducir entre un 10 y un 40% los caudales anuales en el río Maipo y adelantar los peaks entre una y cuatro semanas

dependiendo del escenario considerado. Estos serían los impactos asociados al aumento de temperatura y reducción de precipitaciones, cambios que ya se están observando de manera incipiente en la región (Vicuna *et al.*, 2014). De acuerdo al trabajo de Bonelli *et al.* (2014) estos escenarios podrían tener consecuencias negativas en el suministro de agua para la ciudad de Santiago. Adicionalmente a este posible desbalance entre oferta y demanda de agua, existe otro fenómeno que también tiene un origen climático pero que se manifiesta en horizontes de tiempo más cortos en los que aumentan de manera importante los niveles de turbidez en el agua impidiendo la posible utilización de las aguas que corren por el río Maipo. Este tipo de eventos relativamente infrecuentes en periodos más antiguos, ocurrió en dos ocasiones muy seguidas durante el verano del año 2013, ocasionando graves perjuicios producto de la falta de suministro a una fracción importante de los consumidores de agua potable de la ciudad. La ocurrencia de este último tipo de eventos es de compleja asociación a procesos de largo plazo como el cambio climático, pero es probable que un aumento en la línea de congelamiento de aguas produzca impactos en caudales extremos y condiciones de turbidez en el agua.

Existen una serie de medidas de adaptación que se pueden considerar para atenuar los efectos de estos escenarios de falta de agua producto de los cambios en la disponibilidad hidrológica como por ejemplo la compra de derechos de agua a usuarios agrícolas¹⁷, mejoras en los sistemas de distribución de agua o reducciones en los niveles de demanda de agua por parte de los consumidores (Bonelli *et al.*, 2014). En el caso de los impactos asociados a aumento de turbidez se pueden considerar obras de infraestructura que permitan por una parte aumentar la capacidad de almacenamiento de agua ya tratada por las plantas de agua potable, u obras que permitan suplirse de fuentes que tengan menos riesgos a tener altos niveles de concentración de sedimentos. Estos últimos ejemplos han sido en parte implementados producto de los eventos de alta turbidez ocurridos en los últimos años.

Pese a que este tipo de medidas se han introducido en el caso de la ciudad de Santiago y en otras ciudades de Chile para hacer frente a impactos asociados a la variabilidad climática, no se contempla al menos en el corto plazo la inclusión de este tipo de medidas solamente tomando en cuenta lo que podría ocurrir en base a escenarios de cambio climático de largo plazo.

3. Riesgo de suministro de agua potable en Santiago de Chile

Como se describe en la sección anterior la ciudad de Santiago se encuentra expuesta al riesgo de desabastecimiento puntual como consecuencia del cambio climático. La frecuencia de eventos extremos puede verse incrementada y por lo tanto los costos de proveer agua pueden verse afectados del mismo modo. Un enfoque de riesgo permite plantear medidas de adaptación que en el contexto de cambio climático pueden resultar claves para lograr un desarrollo eficiente y sustentable de la región.

Cuando se trata de un recurso natural como es el agua, los conceptos de riesgo y vulnerabilidad pueden ser abordados de numerosas formas. De manera inequívoca, la vulnerabilidad a eventos naturales extremos debe ir siempre relacionada con la medida en que el sistema es susceptible de sufrir impactos negativos. Sin embargo puede tener muchas definiciones; en el ámbito de las ciencias naturales se suele tratar el problema desde la óptica del riesgo, mientras que en el campo de las ciencias sociales y del cambio climático la vulnerabilidad toma un rol protagónico (Allen, 2003; Downing *et al.*, 2003). El problema que se está tratando en este estudio engloba los tres componentes (económico-social, ambiental y natural) y por lo tanto todos deben ser considerados. La vulnerabilidad en las ciencias naturales se entiende entonces como la probabilidad de que se produzcan impactos como resultado de eventos de clima (Nicholls *et al.*, 1999), desde la perspectiva social como el conjunto de factores socio-económicos que determinan la habilidad del sistema para lidiar con estrés o cambios (Allen, 2003).

Considerando que el eje principal de este estudio es la seguridad hídrica que la ciudad de Santiago debe proveer a sus usuarios en cuanto a suministro de agua, podemos afirmar que para el tratamiento del riesgo y el diseño de los instrumentos se consideran de manera muy estrecha por un lado el impacto y

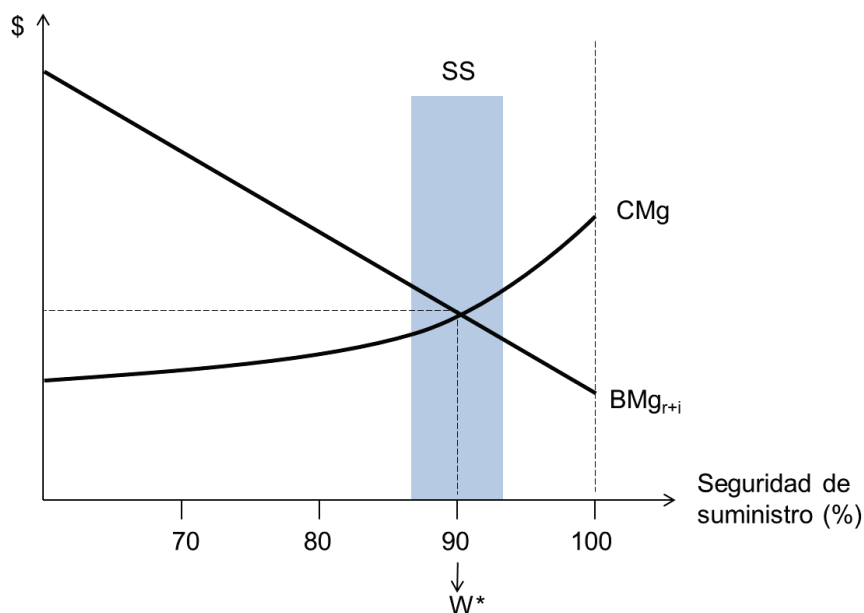
¹⁷ Esta es una característica especial del modelo institucional de gestión de aguas en Chile que permite la compra y venta de derechos de aprovechamiento de agua independiente de transacciones asociadas a la tierra (Vicuna and Meza, 2013). Este mecanismo es una fuente importante de provisión de agua cruda que utilizan las empresas sanitarias en Chile.

por otro la habilidad del sistema para hacer frente a él. Para garantizar los estándares de seguridad hídrica dentro de la cuenca, las medidas que se plantean gestionan el riesgo de eventos extremos (turbidez o falta de agua) y a la vez mejoran la capacidad de adaptación ante dichos eventos para que el sistema sea más flexible y logre un grado de resiliencia tal que evite fallas con costos mayores.

La habilidad de lidiar con el riesgo de disminución de la seguridad hídrica se presenta como una oportunidad. Considerando diversos actores que dependen del suministro de agua del río y que requieren de ciertos niveles de seguridad hídrica, se pueden lograr combinaciones más eficientes que den lugar a menores incrementos en los costos. Es decir, si se considera que cada usuario de agua tiene una distinta disposición a pagar por seguridad e el suministro (DAP), se puede pensar en una herramienta que intercambie la seguridad en el suministro desde aquellos que están menos dispuestos a pagar hasta los que requieren niveles superiores de seguridad en el suministro.

Desde el punto de vista de la empresa suministradora de agua, por ley se debe garantizar un cierto nivel de seguridad en el suministro, que teóricamente está en torno al 90% (véase el gráfico 13). Ese nivel de seguridad se debe traducir en una cantidad de agua W^* que en términos de cantidad es la que va a dar lugar a la fijación de las tarifas, y la que por tanto puede reflejar señales de escasez, abundancia o riesgo.

Gráfico 13
Esquema teórico de demanda por seguridad hídrica en la ciudad de Santiago



Fuente: Elaboración propia.

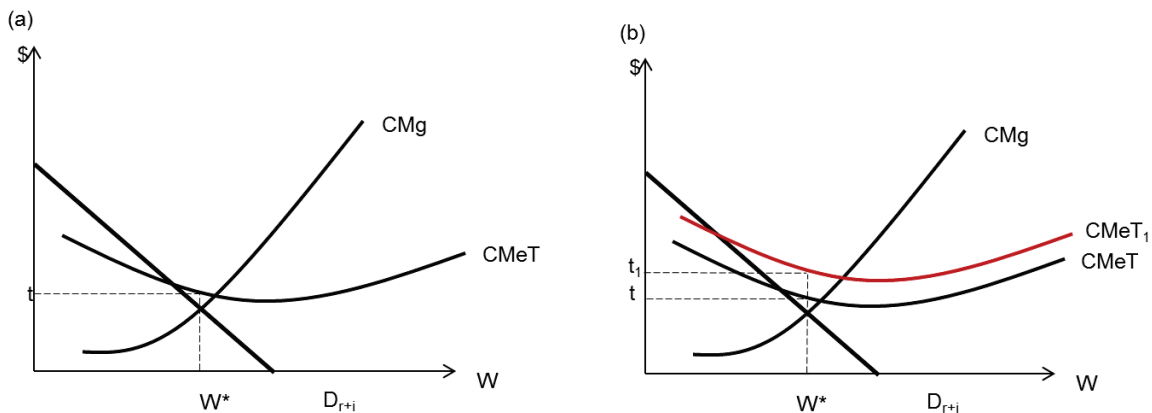
El gráfico 13 muestra en sombreado el rango en torno al cual se sitúa el 90% de seguridad en el suministro que se miden en %, CMg es el costo marginal de proveer seguridad de suministro, BMg_{r+i} es el Beneficio Marginal agregado residencial e industrial, SS es el rango de seguridad en el suministro en torno al 90%, y W^* la cantidad óptima de agua/horas autonomía para cumplir con el nivel del 90% de seguridad hídrica.

Una vez obtenida la cantidad óptima de agua, el procedimiento de fijación de tarifas tiene en cuenta la actuación de la empresa modelo, e incluye un componente fijo, uno variable además de una rentabilidad asegurada como se explicó en el capítulo 2. En el caso de producirse un evento de fuerza mayor (fenómenos extremos que pueden estar relacionados con el cambio climático), la tarifa puede subir para cubrir el incremento en los costos medios (véase el gráfico 14). Otro punto de discusión es cuánto va a incrementar la frecuencia de fenómenos extremos como consecuencia del cambio climático.

Cuanto mayor sea el incremento mayor será la necesidad de protegerse contra fenómenos extremos, pero sin embargo, si la respuesta de adaptación a estos fenómenos es de bajo costo su implementación se vuelve altamente independiente de la frecuencia de los mismos.

El gráfico 14 muestra de manera gráfica, como un impacto de variación del clima aumenta los costos medios y produce un aumento de la tarifa. Este aumento puede ser mayor cuanto menos esperado sea el evento climático y cuanto menos considerados estén sus costos en el plan de acción de la empresa. Si se trata de un corte en el suministro de agua para ciertas comunas de la ciudad de Santiago, los costos en los que se incurre van a estar relacionados por un lado con el costo de reposición del servicio, y por otro con el daño que se produce en los usuarios urbanos o residenciales. Es por ello que, el objetivo de las medidas de adaptación que se plantean es el de prevenir costos sumamente elevados.

Gráfico 14
Establecimiento de tarifas en situación normal (a) y ante evento de fuerza mayor (b)



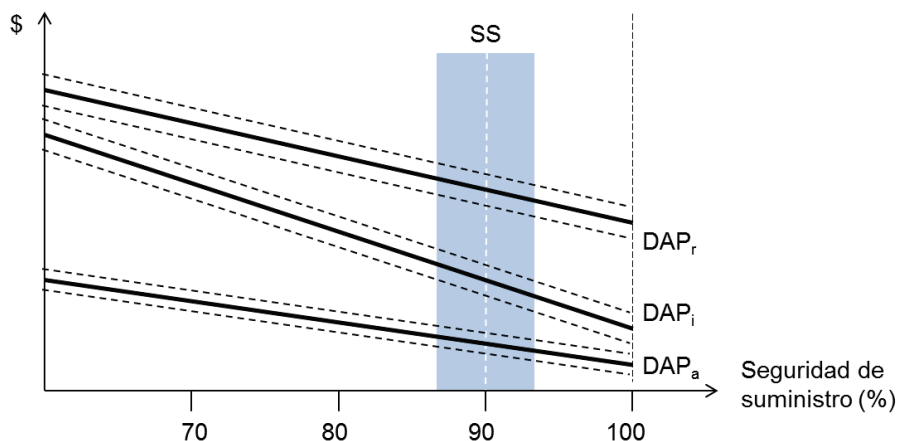
Fuente: Elaboración propia.

Donde $CMeT$ es el costo medio total y CMg el costo marginal del monopolio natural, D_{r+i} es la demanda agregada de agua residencial e industrial y $CMeT_1$ es el costo medio total tras el evento e fuerza mayor. En el caso (a) t es la tarifa en condiciones de normalidad, que incluye el componente fijo y el variable aunque no se muestran gráficamente; y t_1 en el caso (b) es la tarifa tras el evento de fuerza mayor.

Por lo tanto, en este contexto de exposición al riesgo de variabilidad hidrológica, para plantear medidas de adaptación del sector urbano, se han utilizado como punto central las distintas disponibilidades a pagar por distintos niveles de seguridad hídrica por los usuarios del agua dentro de la cuenca. El gráfico 15 representa tres disposiciones a pagar bien diferenciadas, son teóricas, pero muestran las diferencias que pueden existir entre unos usuarios y otros. DAP_r es la disposición a pagar (\$) por seguridad en suministro (%) de los usuarios residenciales, DAP_i es la disposición a pagar de los usuarios industriales conectados a la red, y DAP_a la de los usuarios agrícolas (que se encuentran fuera de la red de distribución de la ciudad).

Las distintas pendientes de las rectas de DAP indican diferentes preferencias ante la seguridad en el suministro, de manera que, ante situaciones eventuales de fuerza mayor, puede resultar ser una información muy valiosa. De tal modo que, los instrumentos que se proponen a continuación se apoyan en la base de estas diferencias para conseguir soluciones socialmente óptimas que permitan una adaptación reactiva-proactiva y público-privada.

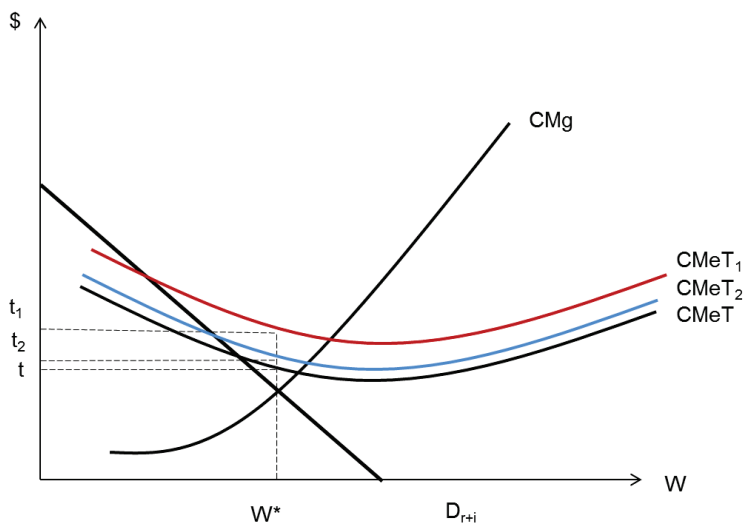
Gráfico 15
Disposiciones a pagar (DAP) por distintos usuarios del agua



Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 16 representa el otro mecanismo fundamental sobre el que se apoyan las medidas de adaptación que se plantean en este estudio. Ambas medidas van a estar enfocadas en conseguir que los costos medios no aumenten en gran medida, y por tanto darían como resultado un aumento moderado en la tarifa de agua, que está por debajo de la disposición máxima a pagar por seguridad en el suministro de los usuarios residenciales.

Gráfico 16
Representación gráfica del objetivo de reducción de costos de las medidas de adaptación urbanas



Fuente: Elaboración propia.

Las situaciones indeseables de falla del sistema, donde se producen cortes de suministro en determinadas zonas o comunas de la ciudad de Santiago, generan un aumento de costos totales que hasta el momento han sido tratados de manera costosa generando un impacto sobre el costo social del agua. Una solución aceptable podría encontrarse entre los costos de construir sistemas más complejos y los costos que implican las políticas enfocadas al equilibrio de mercado y gestión del agua disponible (Starkey *et al.*, 2012).

C. Instrumentos económicos para reducir el riesgo: los contratos de opción

1. Introducción a los contratos de opción como herramientas económicas para la gestión del riesgo hidrológico

Para protegerse de los riesgos que la variabilidad y el cambio climático pueden traer a los sistemas urbanos de agua podemos tomar herramientas utilizadas en otros ámbitos. La mayoría de estas herramientas se basan en el principio de que si existe heterogeneidad entre partes entonces existen oportunidades para cubrir riesgos. Por ejemplo un seguro funciona bajo el esquema donde los asegurados enfrentan distintos riesgos y por lo tanto al agregarlos el riesgo conjunto es compartido: cada uno hace un aporte que permite compensar al asegurado que le ocurre el evento en riesgo.

De una manera similar en los mercados financieros existen instrumentos derivados que se basan en un activo subyacente para ofrecer contratos que permiten manejar los riesgos asociados a ese activo. Así por ejemplo, se tiene los contratos futuros que especifican un acuerdo de compra-venta en una fecha futura a un precio establecido. Estos contratos son transados y pueden usarse para cubrir riesgos asociados a cambios futuros en los precios. En esta misma línea los contratos de opciones especifican una fecha futura y precio de transacción pero solo una de las partes decide si se ejercerá o no el contrato. Entonces el precio del contrato dependerá de las características del contrato, del activo subyacente y las expectativas de su precio, y será determinado por oferta y demanda del contrato.

Los contratos de opciones o futuros también han sido implementados fuera del contexto de los mercados financieros ofreciendo una alternativa para cubrir riesgos asociados a otros tipos de activos, como por ejemplo el agua. Sin embargo, en este caso la valoración de estos contratos es más difícil ya que es probable que no exista un mercado futuro para el activo subyacente.

2. Los contratos de opción

Los contratos de opción de arriendo de agua, permiten a los participantes suscribir un acuerdo ex-ante que fija el precio que se pagará si se cumplen determinadas condiciones en el futuro. Estos contratos de opción se dan sobre la base del arriendo puntual de los derechos de aprovechamiento de agua, y por tanto, no implican de manera obligatoria la transferencia de volúmenes de agua (Gómez Ramos and Garrido, 2004). En este contexto, el contrato de opción se plantea como un instrumento flexible que permite una óptima distribución del riesgo hidrológico (Brown and Carriquiry, 2007; Gómez Ramos and Garrido, 2004) y de los costos de transacción a través del tiempo (Wheeler *et al.*, 2013).

Para diseñar el contrato de opción, se deben tener en cuenta tanto las distintas disposiciones a pagar por seguridad en el suministro, como el valor esperado de los derechos de agua. Ambos se combinan para dar lugar al precio que se pagará por el agua en condiciones de existencia de un contrato de opción. De manera general, los agricultores no van a invertir en nuevos instrumentos de gestión a no ser que el valor presente esperado de las innovaciones sea superior al costo potencial (Carey and Zilberman, 2002). Por ello entra en juego también el establecimiento del costo del contrato con sus consecuentes restricciones. La combinación del precio que se pagará por el agua y del precio del contrato debe ser lo suficientemente atractiva para suponer un nuevo instrumento de gestión del riesgo de cambio climático sobre la disponibilidad de agua. La presencia de alternativas de gestión naturalmente da lugar a un aumento de la capacidad de adaptación, así como, las ganancias que se obtienen de las transacciones de agua son mayores cuando existen además mecanismos como los contratos de opción, que permiten también distribuir las ganancias de manera más uniforme dentro de un mismo territorio (Hansen, 2008).

Los mercados de opción son comprobados mecanismos de gestión de sequías (Hansen, 2008), y por tanto, actúan como seguros ante situaciones puntuales en las que la falta de agua supone un riesgo con probabilidades de generar impactos económicos negativos. Si bien la sequía no debe gestionarse como una emergencia, en muchas ocasiones su gestión se asemeja a ella. En países como Estados

Unidos, los mercados de opción ya son una alternativa de gestión viable para adaptarse en situaciones de sequía (Hansen *et al.*, 2014). En el caso que se trata, la gestión sí es sobre una emergencia relacionada con la falta de agua, los contratos de opción pueden ser incluso más adecuados.

En el caso de un mercado completamente perfecto, los actores involucrados reaccionan a las señales de escasez usando las herramientas disponibles de manera más eficiente que si se encuentran en un ambiente rígido donde predomina la sobreexplotación de los derechos que no pueden ceder o transar (Garrido, 2007). En el caso de la cuenca del Maipo, donde los mercados de agua existen, y los beneficios de transar agua han sido probados, se propone una herramienta que flexibilice el uso de agua ante situaciones de alerta, y que permita por tanto a los distintos actores un uso más eficiente evitando situaciones de sobreexplotación o desabastecimiento.

A pesar de que la inclusión de alternativas de gestión de agua puede involucrar acuerdos institucionales complejos, así como un mayor entendimiento de las dinámicas de los mercados de agua (Wheeler *et al.*, 2013), en el caso de los contratos de opción para el uso temporal de los derechos han sido evaluados como la alternativa menos costosa para proveer un seguro contra la falta de agua a las empresas sanitarias (Michelsen and Young, 1993). Chile representa por tanto una oportunidad para el desarrollo de este instrumento ya que, por un lado los mercados de agua están lo suficientemente establecidos como para que sus dinámicas sean conocidas; y por otro, las el costo institucional podría reducirse más por la preexistencia de relaciones contractuales en el entorno de una misma cuenca hidrográfica.

En definitiva, el establecimiento de acuerdos para el intercambio de agua entre sectores y el desarrollo de contratos de opción para el reparto del riesgo en situaciones excepcionales, son instrumentos que facilitan la gestión del riesgo de escasez de agua y generan nuevos marcos para la adaptación al mismo. Por tanto el riesgo de escasez de agua es un factor clave (Cubillo, 2010) en la agenda de investigación relacionada a la adaptación al cambio climático.

a) Un contrato de opción para la gestión del riesgo de desabastecimiento

Como se ha venido hablando, los contratos de opción que se analizan en este estudio pretenden servir como medidas de adaptación de dos fenómenos relacionados con el cambio climático: en primer lugar el riesgo de desabastecimiento de agua en la ciudad de Santiago, y en segundo el riesgo de turbidez. En el primer caso, el contrato de opción se plantea entre la empresa suministradora de agua y los usuarios agrícolas de la cuenca del río Maipo, de tal modo que, se pueda cumplir con el suministro urbano a un costo menor.

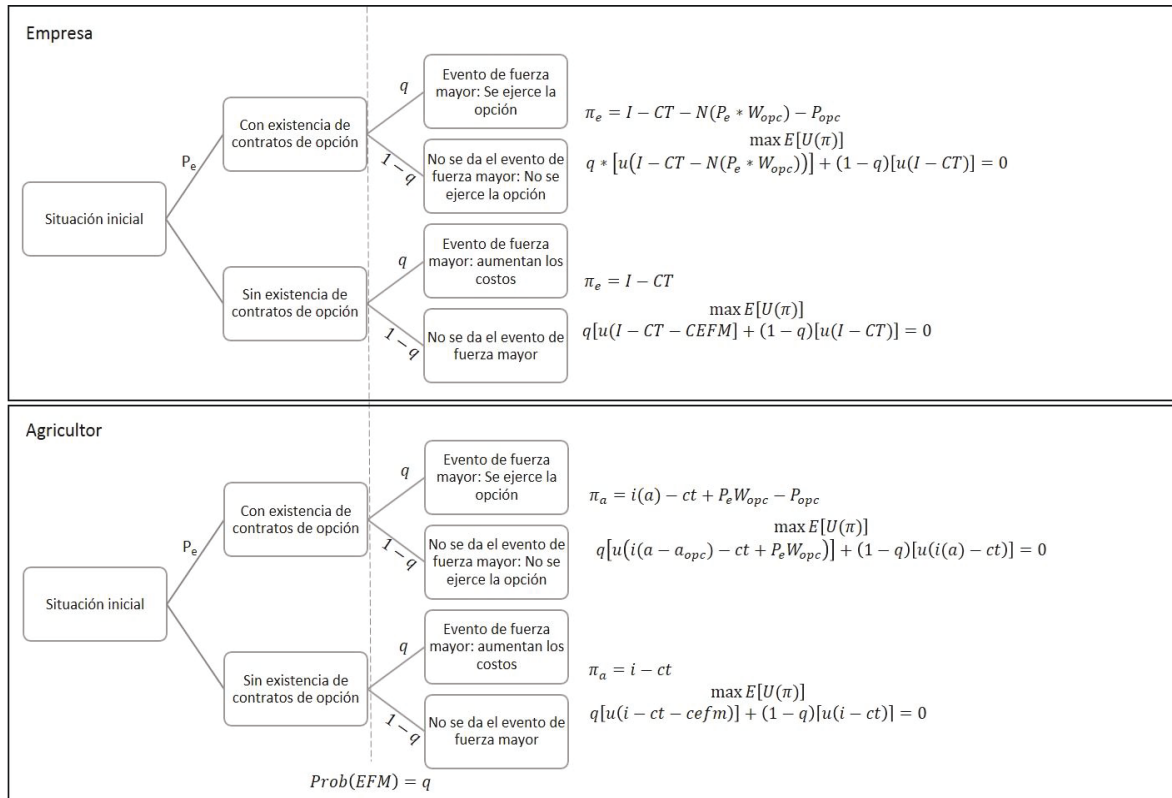
Como se aprecia en el diagrama 4, el éxito del instrumento va a depender de la diferencia entre los beneficios esperados del agua, tanto por agricultores como por la empresa de agua. Es por eso que el instrumento será más atractivo para aquellos agricultores cuya ocupación principal de la explotación no sean los cultivos permanentes y también considerará la distinta valoración que se le da al recurso hídrico a lo largo del año hidrológico. Pero sin embargo en nuestro planteamiento hay que mencionar que se supone asume una menor disposición a pagar por seguridad de suministro de los agricultores con respecto a los otros dos grupos considerados, sin tener en cuenta las diferencias que existen entre ellos.

Matemáticamente, el valor del contrato de opción no debe ser mayor que el aumento de los costos medios que es traspasado a tarifas; pero debe ser superior al ingreso neto de los agricultores. Para comparar las ganancias esperadas de la introducción de un contrato de opción entre la empresa y los agricultores vamos a ilustrar los beneficios con un ejemplo numérico sencillo.

Donde I son los ingresos de la empresa, que vienen dados por los metros cúbicos de agua vendidos a la tarifa fijada, y $i(a)$ son los ingresos del agricultor que en su caso tienen dos componentes, uno que depende de los ingresos netos de la explotación independientemente del agua, y otro que depende de los ingresos percibidos por el agua, pero que a modo de simplificación se asume que los ingresos dependen de la cantidad de agua utilizada; de manera que $i(a-a_{opc})$ son los ingresos obtenidos una vez que se vende el agua asociada al contrato de opción, es decir, con menor cantidad de agua. CF son los costos fijos de la empresa y CF los del agricultor, $CEFM$ los costos totales del Evento de Fuerza Mayor para la empresa y $CEFM$ para el agricultor pero solo en el caso de que se produzca el evento y no cuenten con un contrato de opción. En cuanto al contrato de opción P_{opc} es el precio de la prima que se

paga por el contrato, P_e el precio de ejecución del contrato de opción en el caso que se necesite, W_{opc} el agua intercambiada en el contrato de opción, que en este caso se supone una cantidad fija y q la probabilidad de ocurrencia del Evento de Fuerza Mayor.

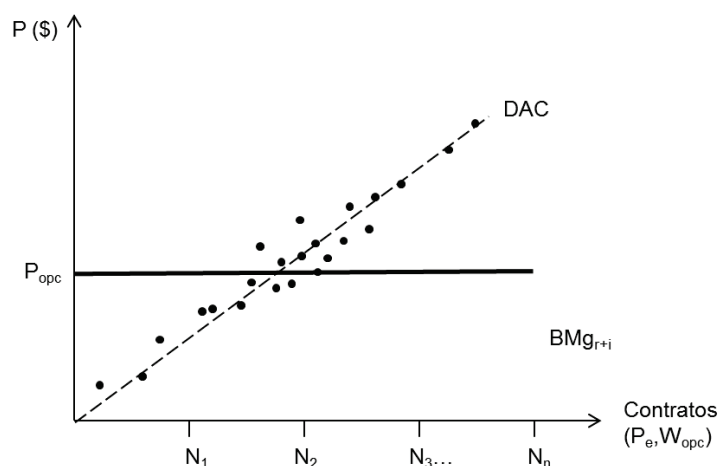
Diagrama 4
Análisis de la pertinencia del contrato de opción



Fuente: Elaboración propia.

Para conocer el precio de la opción y el precio de la prima, se deben comparar en primer lugar los beneficios esperados de los agricultores con contrato de opción de los beneficios esperados sin él, el costo del contrato no debe ser mayor que el costo de oportunidad del agua. Y en segundo lugar desde la óptica de la empresa la comparación nos lleva a deducir que los costos del contrato de opción deben ser menores a los costos del Evento de Fuerza Mayor. Adicionalmente, la empresa (como representante de los usuarios residenciales) debe estar dispuesta a pagar una cantidad mayor por la seguridad en el suministro que los agricultores. El gráfico 17 muestra gráficamente las distintas disposiciones a aceptar por el agua de los agricultores y el precio del contrato de opción que determinaría el número de contratos de opción que requiere la empresa para cubrir la falla.

Gráfico 17
Oferta y demanda de contratos de opción



Fuente: Elaboración propia.

b) Incentivos económicos para la reducción en el consumo

En el caso de un evento de turbidez, se pretende aminorar los costos de la misma manera mediante un contrato de opción, sin embargo, los actores involucrados serían los usuarios industriales o grandes usuarios (como municipalidades, por ejemplo) y los urbanos. A pesar de que el análisis que se puede plantear en este caso es muy similar al anterior, es importante que queden claras las diferencias. En este supuesto el evento de fuerza mayor que se quiere tratar es más a corto plazo y por lo tanto se pretende resolver con un contrato de opción que gatille la disminución en el consumo de ciertos usuarios, es por eso que estos usuarios deben estar dentro de la red de distribución de la ciudad y no fuera de esta, como era en el caso anterior con los contratos de arriendo de derechos.

En este caso la reducción de los costos totales es traspasada desde los usuarios urbanos hasta los industriales, que deben tener una menor disposición a pagar por seguridad en el suministro durante periodos cortos de tiempo. Como resultado se conseguiría un aumento en la autonomía de suministro de la ciudad. Costo social menor que el costo de la alternativa actual.

Se puede hacer una analogía entre el diagrama 4, pero haciendo la distinción de que en el caso de la mayoría de las industrias o municipalidades, su utilidad no son directamente dependientes de la cantidad de agua, y por tanto, el precio de la prima y del agua bajo el contrato de opción va a ser distinto al caso anterior, pero siempre respetando el principio de que el valor del contrato de opción no debe ser mayor que el aumento de los costos medios que es traspasado a tarifas; pero debe ser superior al ingreso neto de las industrias o municipalidades.

Para plantear el instrumento se deben tener en cuenta las distintas alternativas presentes, así como todas las consideraciones del diseño de una opción. Podemos estar ante contratos de opción que se gatillen por la ocurrencia de un fenómeno exógeno, como es el caso de los eventos de fuerza mayor, o, por el contrario podemos diseñar contratos de opción que sean independientes del evento y por tanto se eviten altos costos de transacción.

D. Conclusiones y recomendaciones políticas

El cambio climático probablemente va a afectar al suministro de agua potable en diferentes ciudades del mundo y en particular en Santiago de Chile. Es difícil, sin embargo, cuantificar estos impactos debido a la alta incertidumbre en cortos horizontes de tiempo en cuanto a la variabilidad climática y al valor económico de los impactos. Pero, dicha incertidumbre no debe frenar la necesidad de generar medidas de adaptación que reduzcan la cuantía de los posibles impactos y que sitúen a la ciudad en un nivel bajo de vulnerabilidad ante tales eventos.

En este contexto, medidas muy costosas, pueden resultar menos eficientes si los escenarios de clima más desfavorables no llegan a producirse, pero, si se consigue diseñar medidas de muy bajo costo su eficiencia debiera estar garantizada. Es así como, el planteamiento de adaptación en este estudio parte por evitar en primera instancia las grandes obras hidráulicas para una ciudad como Santiago, con las características de sistema de abastecimiento de agua potable que ya posee.

Pero de cualquier manera, los costos de las medidas de adaptación deben ser incluidos en el proceso estructural de construcción de tarifa de acuerdo al modelo sanitario en Chile. Estos costos deben reflejar el valor de escasez que tiene el agua, pero pueden absorber cierta flexibilidad existente entre las distintas disposiciones a pagar por seguridad en el suministro de los distintos usuarios de una misma cuenca. El éxito de la adaptación radica en el intercambio desde usuarios con menor vulnerabilidad, hasta usuarios más vulnerables, generando así un reparto en el riesgo y un reparto en los costos, lo que desemboca en un menor costo total para la sociedad.

Este estudio, plantea de manera teórica la inclusión de contratos de opción que permitirían reducir los impactos asociados a estos eventos sin tener que tomar decisiones complejas a priori respecto a la ocurrencia de estos impactos del cambio climático. Los contratos de opción se presentan como instrumentos que permiten una óptima distribución del riesgo hidrológico y que además son de bajo costo ex-ante.

La implementación de este tipo de instrumentos no requiere de grandes cambios reglamentarios, aunque sí necesitaría mayor claridad en la determinación de por ejemplo los elementos que caracterizan a un evento de fuerza mayor o de la determinación de umbrales o factores clave que gatillen la ejecución del contrato de opción. Por otra parte, para efectivamente poner en marcha los contratos de opción de requiere de procesos de análisis y gestión que permitan conectar a los potenciales participantes de los contratos y además fijar los precios de los mismos, tanto del contrato como del intercambio o arriendo de agua.

La propuesta descrita para la ciudad de Santiago, que depende fundamentalmente de la cuenca del río Maipo y de los servicios de una concesionaria privada, nos lleva a concluir que los contratos de opción podrían ser una interesante medida de adaptación público-privada, que mezcla elementos que la pueden catalogar tanto como una medida proactiva como reactiva.

Bibliografía

- Allen, K., 2003. 11 Vulnerability reduction and the community-based approach, *Natural Disaster and Development in a Globalizing World*, 170.
- Bonelli, S., Vicuña, S., Meza, F. J., Gironás, J., and Barton, J., 2014, Incorporating climate change adaptation strategies in urban water supply planning: the case of central Chile. *Journal of Water and Climate Change*, 5 (3), 357–376.
- Brown, C., Carriquiry, M., 2007. Managing hydroclimatological risk to water supply with option contracts and reservoir index insurance, *Water Resour. Res.* 43.
- Carey, J.M., Zilberman, D., 2002. A Model of Investment under Uncertainty: Modern Irrigation Technology and Emerging Markets in Water, *Am. J. Agric. Econ.* 84, 171-183.
- Cubillo, F., 2010. Looking for efficiency through integrated water management between agriculture and urban uses, *Water Sci. Technol. Water Supply* 10, 584-590.
- Downing, T., Patwardhan, A., Mukhala, E., Stephen, L., Winograd, M., Ziervogel, G., 2003. Vulnerability assessment for climate adaptation, UNDP Adaptation Policy Framework Technical Paper.
- Garrido, A., 2007. Designing Water Markets for Unstable Climatic Conditions: Learning from Experimental Economics, *Review of Agricultural Economics* 29, 520-530.
- Gómez Ramos, A., Garrido, A., 2004. Formal risk-transfer mechanisms for allocating uncertain water resources: The case of option contracts, *Water Resour. Res.* 40.
- Hansen, K.M., 2008. Contractual mechanisms to manage water supply risk in the western United States, ProQuest Dissertations and Theses.
- Hansen, K., Kaplan, J., Kroll, S., 2014. Valuing Options in Water Markets: A Laboratory Investigation, *Environmental and Resource Economics* 57, 59-80. doi: 10.1007/s10640-013-9659-6.

- Kiparsky, M., Milman, A., Vicuña, S., 2012, Climate and water: knowledge of impacts to action on adaptation, *Annual Review of Environmental Resources*, 37, 163-194.
- Major, D. C., A. Omojola, M. Dettinger, R. T. Hanson, R. Sanchez-Rodriguez, 2011: Climate change, water, and wastewater in cities. *Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*, C. Rosenzweig, W. D. Solecki, S. A. Hammer, S. Mehrotra, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 113–143.
- Meza, F. J., Vicuña, S., Jelinek, M., Bustos, E., and Bonelli, S., 2014, Assessing water demands and coverage sensitivity to climate change in the urban and rural sectors in central Chile. *Journal of Water and Climate Change*, 5(2), 192-203.
- Michelsen, A.M., Young, R.A., 1993. Optioning agricultural water rights for urban water supplies during drought, *Am. J. Agric. Econ.* 75, 1010-1020.
- Nicholls, R.J., Hoozemans, F.M.J., Marchand, M., 1999. Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: regional and global analyses, *Global Environ. Change* 9, S69-S87.
- Revi, A., Satterthwaite, D., Aragon-Durand, F., Corfee-Morlot, J., Kiunsi, R.B.R., Pelling, M., Roberts, D., and Solecki, W., 2014, Urban areas (Chapter 8), in 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.), *Climate Change 2013, Impacts, Adaptation, and Vulnerability—Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*: Cambridge University Press, Cambridge, UK, 113 p.
- SISS (Superintendencia de Servicios Sanitarios), 2003. Presentación Empresa modelo: Las mejoras necesarias. Presentación realizada en Seminario Internacional Bid-Siss-Fomin Tercer Encuentro Aderasa. 23 al 25 de Septiembre de 2003.
- _____(Superintendencia de Servicios Sanitarios), 2013. Prestación de los Servicios Sanitarios en Chile—Visión Regulador. Presentación realizada en Taller Políticas Tarifarias y Regulatorias, Cepal 8 de julio 2013.
- Starkey, S.R., Dye, S., Read, E.G., Read, R.A., 2012. Stochastic vs. Deterministic Water Market Design: Some Experimental Results.
- Vicuna, S, Meza, F. 2013. Serie N° 55: Los nuevos desafíos para la gestión de los recursos hídricos en Chile en el marco del Cambio Global. Serie Temas de la Agenda. Centro de Políticas Públicas UC.
- Vicuna S., Bonelli, S., Bustos, E., Uson, T., (2014). Beyond city limits: Using a basin perspective to assess urban adaptation to climate change: The case of the city of Santiago in Chile. Presented at RESILIENT CITIES 2014 CONGRESS.
- Wheeler, S., Garrick, D., Loch, A., Bjornlund, H., 2013. Evaluating water market products to acquire water for the environment in Australia, *Land Use Policy* 30, 427-436.



NACIONES UNIDAS

Serie**CEPAL****Seminarios y Conferencias****Números publicados****Un listado completo así como los archivos pdf están disponibles en****www.cepal.org/publicaciones**

82. La incertidumbre de los recursos hídricos y sus riesgos frente al cambio climático. Herramientas para los tomadores de decisiones de los sectores público y privado (LC/L.4030), 2015.
81. Agricultura y cambio climático: economía y modelación. Memoria del cuarto seminario regional de agricultura y cambio climático, realizado en Santiago, los días 13 y 14 de noviembre de 2013 (LC/L.3996), 2015.
80. Memoria del primer Encuentro de Expertos Gubernamentales en Políticas de Desarrollo Territorial en América Latina y el Caribe (LC/L.3950), 2015.
79. Conversatorio sobre la naturaleza del instrumento regional: resumen de respuestas y comentarios de expertos en derecho público ambiental internacional (LC/L.3938), 2014.
78. Políticas públicas para la igualdad: hacia sistemas de protección social universal, (LC/L.3855), 2014.
77. Agricultura familiar y circuitos cortos: nuevos esquemas de producción, comercialización y nutrición. Memoria del seminario sobre circuitos cortos realizado el 2 y 3 de septiembre de 2013 (LC/L.3824), 2014.
76. Pactos sociales para una protección social más inclusiva: experiencias, obstáculos y posibilidades en América Latina y Europa (LC/L.3820), 2014.
75. Agricultura y cambio climático: nuevas tecnologías en la mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático. (LC/L.3714), 2014.
74. Las tecnologías de la información y de las comunicaciones (TIC) el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe: experiencias e iniciativas de política. (LC/L.3679) julio 2013.
73. Políticas para la agricultura en América Latina y el Caribe: competitividad, sostenibilidad e inclusión social, Memoria del seminario internacional sobre políticas agrícolas en América Latina y el Caribe, realizado en Santiago los días 6 y 7 de diciembre de 2011 (LC/L.3646), 2013.
72. Rentas de recursos naturales no renovables en América Latina y el Caribe: Evolución 1990-2010, Memoria del seminario de gobernanza, realizado en Santiago, los días 24 y 25 de abril de 2012 (LC/L.3645), 2013.
71. Agricultura y cambio climático: Del diagnóstico a la práctica, Memoria del segundo seminario regional Agricultura y cambio climático, realizado en Santiago, los días 23 y 24 de noviembre de 2011 (LC/L.3532), 2012.
70. Desarrollo regional en América Latina: El lugar importa, Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES), (LC/L.3454), 2012.

SEMINARIOS Y CONFERENCIAS

Series

C E P A L

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE
ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN
www.cepal.org