

EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS RECURSOS HÍDRICOS DE CHILE



Archivo fotográfico: J. Espinoza.

11.

Sólo en los últimos 50 años el agua ha sido vista como un recurso escaso para la humanidad. En la medida que su consumo ha ido creciendo a ritmos insostenibles en relación con la real disponibilidad, el problema de deterioro de las cuencas hidrográficas del mundo es creciente. El agua cumple tres roles esenciales para la sostenibilidad del desarrollo mundial: aseguramiento de la salud humana, desarrollo económico y sustentación de importantes ecosistemas. Más del 70% de los recursos hídricos en el mundo se usan para producir alimentos, de modo que una crisis del agua necesariamente repercutirá en el abastecimiento de alimentos y el precio de éstos. Las evidencias de que la humanidad enfrentará un cambio climático son cada vez más claras, en la medida en que ellas se van presentando ante nuestros sentidos. La presencia de los 7.300 millones de personas que pueblan en la actualidad 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 ya no parece borrarse por sí sola. Los océanos se han ido llenando de basura, las aguas continentales agotando y degradando en su calidad, y la atmósfera absorbiendo las casi 1.000 toneladas por segundo de gases de efecto invernadero

*Texto elaborado por **Fernando Santibáñez Quezada**, consultor externo.*

(GEI), lo que está provocando un calentamiento en torno de los $0,2^{\circ}\text{C}$ 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 ha por minuto (13 millones de hectáreas por año). Frente a toda esta desenfrenada acción humana, están surgiendo los signos inequívocos del estrés que está sufriendo el planeta. 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 atmósfera y en los principales ciclos biogeoquímicos, como el ciclo del agua, del carbono y del nitrógeno. Los cambios que sufrirá el escenario climático mundial serán uno de los grandes desafíos que enfrentará la humanidad en este siglo. Los cambios permanentes (a escala humana) 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 degradación de los ecosistemas, las extinciones de 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, 2015).

Sumados todos los usos del agua, el consumo nacional llega a $4.710 \text{ m}^3/\text{s}$ (Ayala, 2010). El mayor usuario de agua en Chile es la agricultura, con un 73% del total nacional, lo que abastece a una superficie regada de 1,1 millones de hectáreas entre las regiones de Coquimbo a Los Lagos (INE, 2007). Un 6% del consumo es agua para fines domésticos. Los usos mineros alcanzan al 9% y los industriales

al 12% (Ayala, 2010). En muchas regiones del país los derechos de aprovechamiento existentes superan a la disponibilidad real del recurso, lo que ha llevado a declarar numerosas regiones como agotadas tanto en sus aguas superficiales como subterráneas (Banco Mundial, 2011).

Son numerosos los factores naturales que se conjugan en la crisis del agua en Chile, a estos, se agregan factores jurídicos derivados del estatus legal que el país adoptó para este recurso, lo que facilitó la concentración de la propiedad de los derechos de agua (DAA). Se agrega a esto, el alto uso del recurso en la generación eléctrica, la elevación de las isoterma que han reducido los depósitos de nieve (Givovich, 2006), 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 y el aumento registrado en los últimos años en las tasas de evaporación.

El objetivo del análisis presentado en este estudio es de proporcionar una visión general de las implicancias que el cambio climático podría tener sobre la disponibilidad y la gestión de los recursos hídricos de que dispone la agricultura en Chile. Son varias las preguntas que emergen cuando se plantea el desafío de vincular cambio climático y recursos hídricos, entre algunas están:

- ¿En qué medida los recursos hídricos están amenazados por el cambio climático en Chile?
- ¿Qué parte del territorio podría sufrir los impactos más negativos?
- ¿Cómo estos cambios afectarían a la agricultura?
- ¿Cuáles son las estrategias que requerimos para mejor enfrentar los desafíos del agua para la agricultura?

Antes de responder estas preguntas, se hace necesario dimensionar los recursos hídricos y la situación actual de su disponibilidad, así como las variaciones climáticas que influyen en la situación hídrica del país. Con este propósito hemos procesado una gran cantidad de datos climáticos históricos cuyos resultados presentamos a continuación

LAS DIMENSIONES DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN CHILE

Por la localización latitudinal del Chile, el territorio parte en la zona subtropical árida que recibe una fuerte influencia anticiclónica correspondiente al cinturón de desiertos del trópico de Capricornio. El anticiclón del Pacífico sur-oriental permanece todo el año, con su alta presión, bloqueando el ingreso de cualquier perturbación atmosférica que pudiera generar lluvias, ese es el origen del desierto del norte grande. En el desierto de Atacama se registran las menores precipitaciones del planeta, alcanzando promedios tan bajos como 2 mm/año. A medida que nos alejamos del trópico hacia el sur, el anticiclón va perdiendo su capacidad de bloqueo, permitiendo cada vez más el ingreso de los frentes de lluvia que vienen del sur-oeste. Así, el territorio chileno va observando un gradual aumento de las precipitaciones hasta la región de Aysén, donde esta llega a un máximo superior a los 3.000 mm anuales debido al paso de un par de frentes cada semana, los que dejan más de 250 días de lluvia cada año en las islas más occidentales. Hacia el extremo austral (Magallanes), la precipitación declina nuevamente debido a la influencia “pam-

peana” que acarrea las altas presiones del anticiclón del Atlántico, responsable de la aridez del sur de Argentina. Junto con esta evolución, el territorio se enfría gradualmente desde la región central al sur, manteniendo temperaturas diurnas unos 8 a 10°C más bajas en la costa que en el interior:

El total de aguas renovables en Chile alcanza a los 922 km³ anuales, lo que lo sitúa en el lugar 14 en el mundo y 5 en Latinoamérica. No obstante esto, el agua en Chile presenta un fuerte desequilibrio geográfico (tabla 11.1). El patrimonio hidrológico de Chile se estructura en 101 cuencas hidrográficas principales, que nutren a 1.251 ríos cuya escorrentía anual en conjunto alcanza a los 29.245 m³/s. (MOP, 2013). Este caudal de agua renovable, en relación con la población del país, da una disponibilidad de agua del orden de los 53.000 m³/habitante año, lo que es 25 veces el valor de 2000 m³/habitante, considerado adecuado para un desarrollo ilimitado en agua.

En cifras globales, Chile es un país con abundantes recursos hídricos. Considerando el total de la escorrentía procedente de las precipitaciones, la disponibilidad anual es de 53.000 m³/habitante (Banco Mundial, 2011), muy superior a los 2.000 m³/habitante/año, considerado mundialmente como necesario para el desarrollo sostenible. A pesar de esto, hay un fuerte desequilibrio geográfico entre la localización de los recursos y la población. La región central y norte, deficitaria en agua, concentra el 65% de la población del país. El caso más extremo se presenta en las regiones de Antofagasta y Atacama con 52 y 208 m³/habitante. Entre las regiones de O’Higgins y La Araucanía, la disponibilidad natural de agua supera los 6.000 m³/persona/año, llegando hasta los 49.000 m³/persona/

Tabla 11.1 Disponibilidad de agua en las regiones de Chile.

MACROZONA	REGIÓN	REGIÓN	M ³ /S	ESCORRENTÍA PER CÁPITA M ³ /PERSONA/AÑO
Norte	XV	Arica y Parinacota	5,5	725
	I	Tarapacá	6,4	599
	II	Antofagasta	0,9	47
	III	Atacama	1,9	190
	IV	Coquimbo	22,2	908
Centro	V	Valparaíso	41	703
	RM	Metropolitana	103	444
	VI	O'Higgins	205	7.037
	VII	Maule	767	23.191
Sur	VIII	Biobío	1.638	24.432
	IX	Araucanía	1.041	33.167
	XIV	Los Ríos	1.046	81.563
	X	Los Lagos	4.109	154.058
Austral	XI	Aysén	10.134	2.950.168
	XII	Magallanes	10.124	1.938.956
Total			29.245	5.216.188

Fuente: adaptado de Atlas del agua (DGA, 2015).

Tabla 11.2 Algunas estadísticas del agua en Chile.

REGIÓN	POBLACIÓN	SUPERFICIE KM ²	PP MEDIA MM/AÑO	ESCORRENTÍA MM/AÑO	ESCORRENTÍA %	AGUA RENOVABLE M ³ /HTE
Arica y Parinacota	243.149	16.873				
Tarapacá	344.760	58.698	94	7	8	972
Antofagasta	631.875	126.444	45	0	0	51
Atacama	316.692	75.573	82	1	1	208
Coquimbo	782.801	40.656	222	18	8	1.213
Valparaíso	1.842.880	16.396	434	84	19	894
Metropolitana	7.399.042	15.349	650	200	31	438
O'Higgins	926.828	16.341	898	362	40	7.578
Maule	1.050.822	30.825	1.377	784	57	26.181
Biobío	2.127.902	36.929	1.766	1.173	66	23.270
Araucanía	1.005.322	31.842	2.058	1.476	72	54.050
Los Ríos	407.300	18.429			78	
Los Lagos	847.495	67.013		2.423	80	226.543
Aysén	109.317	109.025	3.263	2.828	87	3.369.942
Magallanes	165.547	132.033	2.713	2.338	86	2.046.684

Fuente: FAO 2000, INE 2015.

año. Desde la Región de Los Ríos hacia el sur aumenta el agua y disminuye la población, observándose una disponibilidad natural de agua que supera los 169.500 m³/habitante/año.

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 tienen costos claramente por encima de 1 dólar por m³, lo que deja a la agricultura fuera de posibilidades de acceder a estas soluciones. Dados los grandes volúmenes de agua usados por la agricultura, los que difícilmente bajarán de 6.500 m³/ha año, las soluciones viables con esta industria deberán producir agua a menos de un 10% de los costos que pueden ofrecer estos sistemas.

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 más del 100% del agua que provee la cordillera llega hasta el mar; esto último, debido a que los cauces principales reciben aportes de afluentes en la parte baja del valle, haciendo llegar más agua al mar; de lo que aportó la cuenca principal en la cordillera. Es así como entre Atacama y Biobío los ríos vierten al mar anualmente una cifra del orden de los 50 km³ de agua dulce (50 veces el sistema Paloma-Recoleta-Cogotí completo) (tabla 11.2).

En general los ríos de Chile tienen un régimen predominantemente nival en la zona central y norte, el cual evoluciona gradualmente hacia uno pluvial de Biobío al Sur, pasando por un régimen mixto de transición en Maule y Ñuble. Cualquiera que sea el régimen, la temporada de riego se extiende por 6 o 7 meses, por lo que en el restante tiempo las aguas siguen su curso hacia el mar, especialmente en las cuencas que no cuentan con regulación artificial. Esta situación, además de la existencia de afluentes en zonas bajas, hace que a nivel de promedios anuales, los caudales en la desembocadura sean una proporción muy alta en relación con el caudal afluente (en el punto más alto antes de la existencia de usuarios). En el río Maipo el caudal sobrante es superior al 90% y de Rapel al sur los caudales en la desembocadura superan incluso al caudal afluente. Sólo de Limarí al norte los ríos llegan con menos del 50% de su agua al mar. Todo esto señala una situación de relativa abundancia de agua, la cual no puede ser aprovechada debido a la falta de capacidad de regulación del caudal (tabla 11.3).

Las cuencas presentan claros signos de estrés del Aconcagua al norte (Ayala, 2010). Al sur de O'Higgins, la demanda está por debajo de la oferta considerando cifras anuales, no obstante en periodos de estrés, han comenzado a aparecer claros signos de deficiencia hídrica hasta la región de Osorno.

Los caudales de los principales ríos se han mostrado altamente variables en las últimas décadas, insinuando ciclos de varios años de mayor caudal, alternados con ciclos de menor caudal. Estos ciclos están alineados con los ciclos más lluviosos y secos asociados a la oscilación decadal del Pacífico (PDO), los que tienen una longitud de 10 a 20 años. Aunque

los caudales no muestran una tendencia clara, hay ciertas cuencas, que sugieren una cierta declinación de la escorrentía en las últimas décadas, este es el caso de Aconcagua (gráfico 11.1).

Las Aguas Subterráneas

La recarga media estimada alcanza aproximadamente 55 m³/s desde la RM al norte (Salazar, 2003). Al sur de la Región del Libertador B. O'Higgins no hay datos precisos pero se estima una recarga de alrededor de 160 m³/s regiones del Maule y Los Lagos (DGA, 2011).

La utilización efectiva de las aguas subterráneas fue estimada en 88 m³/s en 2003, de los cuales 49% se utilizaba para la agricultura, 35% para abastecimiento poblacional y 16% para industria (Salazar, 2003). En la actualidad este valor bordea los 100 m³. Las aguas subterráneas son particularmente importantes para los sectores minero y sanitario, repre-

sentando alrededor de 63% de los DAA mineros en 2006 (Proust Consultores, 2008) y 46% de los usos por agua potable (SISS, 2010). Son particularmente importantes para la agricultura del norte a partir de la Región de Valparaíso. La mayor parte de los acuíferos se encuentran sobre exigidos en Chile debido a la inexistencia de modelos hidrogeológicos operacionales que ayuden a racionalizar la gestión de las aguas subterráneas.

Calidad del Agua

La contaminación de las aguas principalmente se genera a través de las aguas servidas, originadas de los usos domésticos, de los efluentes mineros y los residuos industriales líquidos, de la lixiviación de sales al suelo, la contaminación difusa por fertilizantes y pesticidas en las aguas superficiales y subterráneas (Orrego, 2002). A parte de esto, las aguas de escorrentía son, en general, de elevado contenido de sales del Cachapoal al norte, lo que conduce a problemas de salinización cuando se usan sistemas de riego de alta eficiencia.

El boro y arsénico exceden la norma de riego en Lluta y Camarones; el boro también supera la norma en los ríos Huasco, Copiapó y Elqui; el Cachapoal tiene índices altos de hierro y cobre, este último anormalmente alto también en el río Mapocho. Desde la Región del Maule a Magallanes los ríos examinados presentan índices de contaminantes muy por debajo de límite fijado por la norma NCh 1333. (DGA, 1996)

Sobresalen por su calidad a todo lo largo de su curso los ríos Lauca, Mataquito, Maullín, Aysén, Cisnes y Side, en Tierra del Fuego. Los lagos del Sur de Chile y los lagos del norte de la Patagonia han presentado un fuerte aumento de la eutrofización causado por las actividades

Tabla 11.3 Caudales afluentes y sobrantes de las principales cuencas de Chile.

CUENCA	CAUDAL AFLUENTE, QA	CAUDAL SOBRANTE, QS	QS/QA
Lluta	1,86	1,54	82,8
San Jose	1,03	0,00	0,0
Loa	0,70	0,32	45,7
Copiapó	0,61	0,10	16,4
Huasco	2,91	1,50	51,5
Elqui	6,01	2,48	41,3
Limarí	6,31	2,40	38,0
Choapa	9,00	8,10	90,0
Aconcagua	33,44	22,13	66,2
Maipo	104,72	97,96	93,5
Rapel	130,00	174,00	133,8
Maule	331,40	469,45	141,7
Itata	310,00		
Biobío	479,50	924,70	192,8

Fuente: Elaboración propia.

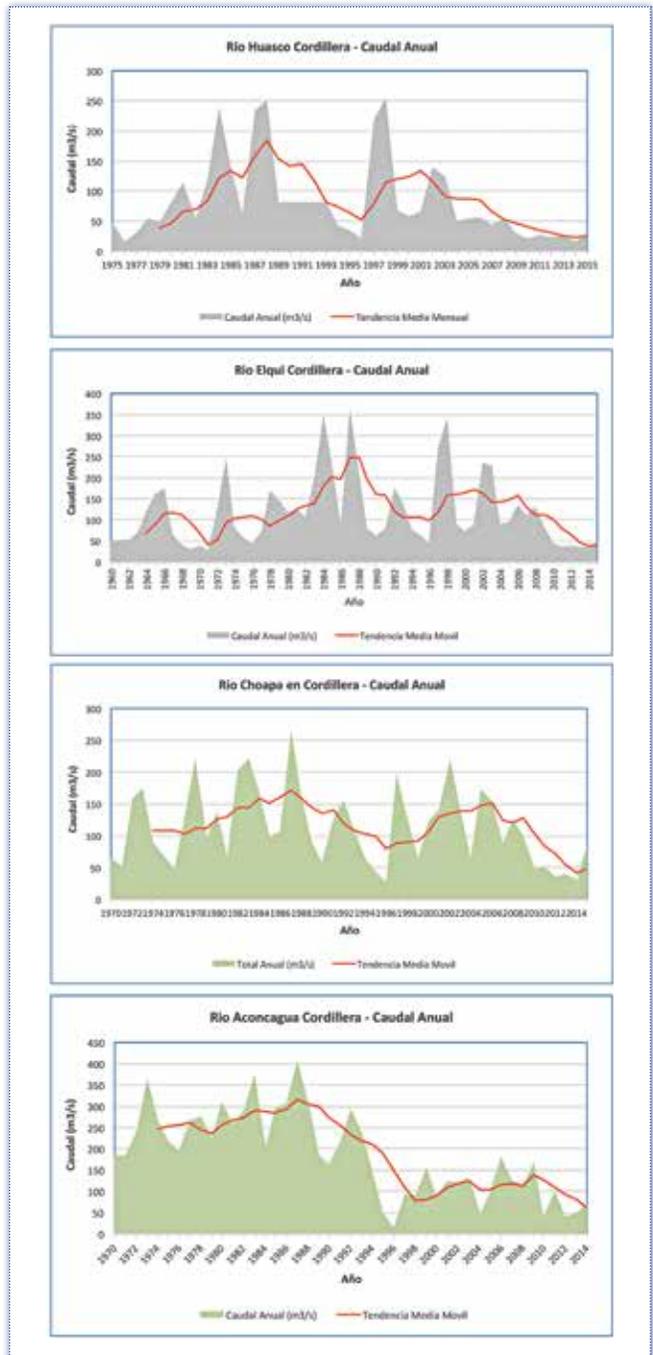
económicas y humanas en sus riberas, que introducen en ellos nutrientes y materia orgánica. Este proceso está más avanzado en los lagos Villarrica, Calafquen, Riñihue y Llanquihue, aunque los efectos nocivos han disminuido paulatinamente con la instalación de plantas purificadoras de aguas servidas, en las ciudades ribereñas.

Los contaminantes más frecuentes de las aguas de los ríos en Chile son el mercurio, selenio, arsénico, cadmio, molibdeno, zinc y níquel. En casos específicos, el cobre puede encontrarse en niveles elevados (Pizarro et al., 2010).

LOS CICLOS DEL CLIMA Y LAS SEQUÍAS EN CHILE

El clima chileno está fuertemente influido por el fenómeno de El Niño-La Niña (ENSO). Durante la fase cálida de El Niño, el anticiclón de repliega más al norte o bien se debilita y divide en dos, una fracción se mantiene frente a la costa norte y la otra se desplaza a regiones australes, provocando sequías en Aysén y Magallanes, mientras los frentes ingresan con frecuencia trayendo lluvias a la zona central, aprovechando el espacio que dejan las dos fracciones del anticiclón. Contrariamente durante la fase fría de La Niña, el anticiclón se refuerza, y avanza hacia la zona central y centro sur, ejerciendo un efecto de bloqueo de los frentes, lo que no pueden ingresar al centro del país, propiciando lo que se asocia a una sequía. Por lo general esto hace 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, en los cuales pasa-

Gráfico 11.1 Tendencias temporales de los caudales de algunos ríos.



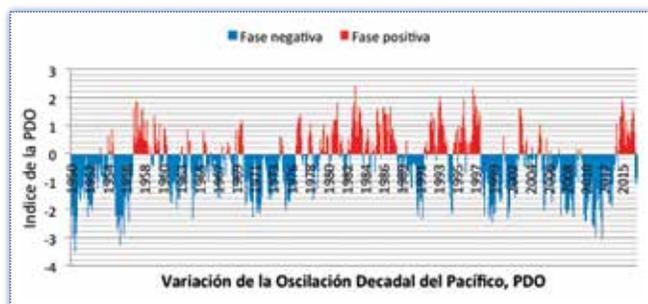
Fuente: Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, Cuenca del río Maipo. Dirección General de Aguas, 2004.

mos por periodos lluviosos y secos. Este último fenómeno es conocido como la PDO, el cual hace que toda la costa americana pase por periodos de aguas frías, asociados a una alta frecuencia de Niñas. 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. En periodos bajos de la AO, 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 PDO, lo

que ha traído una alta frecuencia de episodios de aguas oceánicas frías y la consecuente menor pluviometría. La PDO muestra ciclos positivos y negativos de más de una década de duración creando ciclos de 15 a 20 años más secos o más lluviosos, según pase por su fase negativa o positiva (gráfico 11.2)

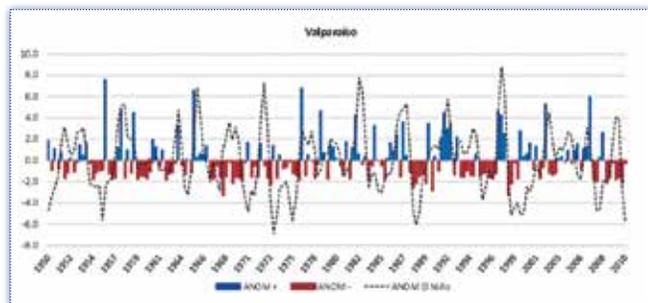
Si bien la PDO es el fenómeno planetario que determina los ciclos del clima a macroescala en la costa americana, el fenómeno que más directamente determina el comportamiento pluviométrico de cada año es la ENSO (gráfico 11.3). Las series de tiempo muestran una cierta regularidad entre los ciclos ENSO cálidos y fríos. Durante los ciclos cálidos, correspondientes al evento de El Niño las precipitaciones tienden a ser más abundantes. Inversamente, los eventos fríos (La Niña) tiende a provocar sequias persistentes. Como los mecanismos generadores de precipitación dependen además de la actividad frontal asociada a la AO, la relación entre Niños y precipitación no es absoluta. El gráfico 11.4 muestra el nivel de asociación entre años lluviosos y anomalía de la temperatura superficial del mar (TSS). Se aprecia que en un 75% de los casos de anomalía negativa de la TSS, la precipitación responde negativamente (sequia), pero hay un 25% de los casos en que una anomalía negativa de TSS se asocia a lluvias por sobre lo normal, lo que rompe la regla. Inversamente, las anomalías positivas de la TSS tienden en un 65% a provocar lluvias por sobre lo normal, mientras que en un 35% de los casos ellas se asocian a sequias. En los últimos 60 años los ciclos cálidos (Niño) de la TSS han mostrado una duración media de 20 meses y los fríos (Niña) de 19 meses, con un periodo de retorno del orden de 24 meses. La duración de los eventos cálidos (Ni-

Gráfico 11.2 Ciclos positivos y negativos de la PDO desde 1950. Se aprecia que los años 60 y 70 dominó un ciclo negativo, en los 80 y 90, uno positivo que trajo en ciclo lluvioso, desde los 2000 hemos estado en fase negativa, la que está dando señales de término para pasar a una positiva.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 11.3 Los ciclos de El Niño-La Niña desde 1950. Se aprecia la fuerte relación entre las anomalías de la Temperatura de la superficie del mar y las anomalías de la precipitación en la zona central.



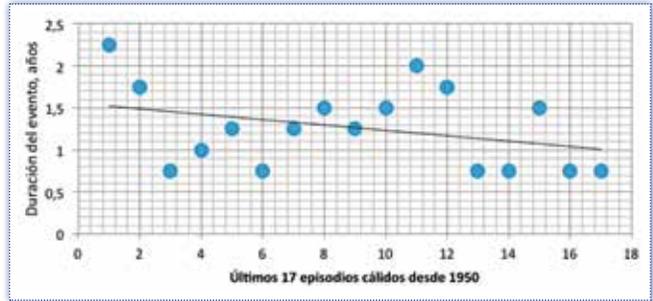
Fuente: Elaboración propia.

ños) ha mostrado una ligera tendencia a la disminución, junto a un aumento en la duración de las Niñas. (gráfico 11.4). La megasequía 2008-2015 ha roto varios records históricos. Ella ha coincidido con los años más cálidos de los últimos 100 años, ha registrado el mayor número de años consecutivos con precipitaciones deficitarias (6 años entre 2010 y 2015) (gráfico 11.5) y registra el mayor número de años consecutivos con déficit hídrico (PP-ETP) superior a los 1.000 mm/año (10 años entre 2005 y 2015). Esto último se debe no sólo a la menor pluviometría registrada durante esta sequía, sino al progresivo aumento de la evapotranspiración que la ha elevado desde los 1.150 mm por año en 1900 a más de 1.300 mm/año en los años recientes (gráfico 11.6).

LAS TENDENCIAS QUE HA MOSTRADO EL CLIMA CHILENO EN LAS ÚLTIMAS DÉCADAS

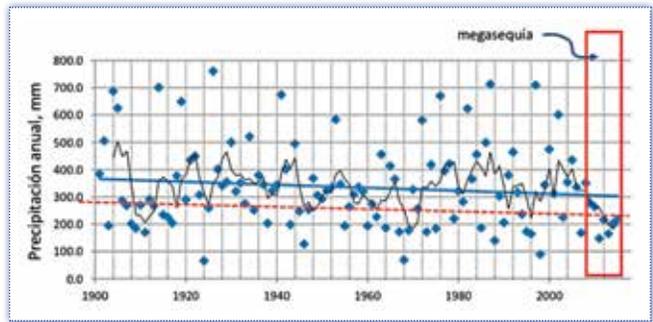
En todo el orbe los bordes polares de los desiertos han visto avanzar la aridez sobre regiones agrícolas como California, Atacama y zonas sub saharianas. De continuar esta tendencia, estaríamos transitando hacia un país algo más árido como ocurrirá en todas las regiones del mundo que están al borde de 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 climáti-

Gráfico 11.4 Duración de los eventos de El Niño (Número de años en que se mantiene la anomalía positiva), en los eventos desde 1050.



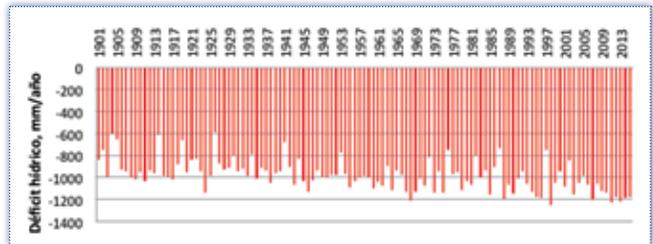
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 11.5 Precipitación histórica en Santiago. Nótese que nunca se había producido un periodo consecutivo de 8 años sin ningún año que sobrepase los valores normales. La línea azul corresponde al promedio, la roja al límite de sequía (80% del promedio) y la negra es la media móvil de 4 años.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 11.6 Progresivo aumento del déficit hídrico (PP-ETP) en Santiago que muestra que a partir de 2005 se ha producido el periodo más árido de la historia en esta zona.



Fuente: Elaboración propia.

co, por sobre el aumento de la variabilidad, de ciertos eventos extremos como lluvias intensas, vientos y granizo. En zonas templadas los inviernos se han

tornado más y más suaves. Si bien estos cambios pueden constituir una amenaza para la actividad agrícola, a veces ellos representan buenas oportunidades para ampliar o diversificar la agricultura local; en Chile este será el principal sello de los cambios climáticos en la zona sur.

En Chile se produce una situación muy especial, cual es la presencia del Océano Pacífico a todo lo largo de su geografía. Un océano frío cuyo litoral es recorrido por la corriente fría más extensa del mundo, la corriente de Humboldt. Como se supone que los vientos aumentarán su intensidad sobre los océanos, las corrientes marinas debieran igualmente hacerse más intensas, lo que paradójicamente debiera enfriar las aguas superficiales en las zonas cercanas a la costa chilena. Estas aguas más frías ejercerán un efecto refrescante, mayor que el actual, sobre las masas de aire que ingresan desde el océano al continente, lo que tenderá a neutralizar el calentamiento global en una extensa franja costera de varias decenas de kilómetros. Este fenómeno ya comenzó a operar hace varias décadas, lo que ha tenido como consecuencia un descenso de las temperaturas máximas ya observado en zona litorales del norte y centro de Chile.

La precipitación anual, en las zonas costeras, ha disminuido entre un 15 y 30% en los últimos 100 años, mientras que en zonas interiores, este cambio es sólo ligeramente perceptible. Veamos algunas estadísticas: la precipitación media anual de La Serena en 1960 fue de 111 mm, mientras que en 2002 fue de sólo 88 mm, y en Concepción las cifras en el mismo período fueron de 1.400 mm y 1.170 mm respectivamente (gráfico 11.7). El hecho de que la disminución de las precipitación se haya concentrado mayormente en zonas costeras puede

estar relacionado con un cambio en la trayectoria de los frentes debida a un cambio en la conducta del anticiclón del Pacífico. Si esta situación se mantiene así en este siglo, entonces el volumen total de agua de escorrentía de las cuencas no estaría tan amenazado, por cuanto el caudal es más bien regulado por las precipitaciones de cordillera. Lo que sí estaría amenazada es la estacionalidad del agua que escurre por los ríos, pues al subir la temperatura, subiría la línea de las nieves, lo que haría que más precipitación lo hiciera en forma líquida y menos como nieve, aumentando la escorrentía invernal, cuando la agricultura no requiere agua. Este cambio podría tomar más amenazante al régimen de lluvias si se considera además que las precipitaciones en Chile podrían disminuir en número (gráfico 11.8) pero aumentar en intensidad, tendencia de la cual ya hay algunos indicadores.

El régimen térmico igualmente ha mostrado cambios diferentes en zonas costeras e interiores. En zonas costeras las máximas han tendido a descender haciendo que los veranos sean cada vez más frescos, mientras que las mínimas han subido marcadamente. En zonas interiores, se observa una tendencia al alza tanto de mínimas como de máximas.

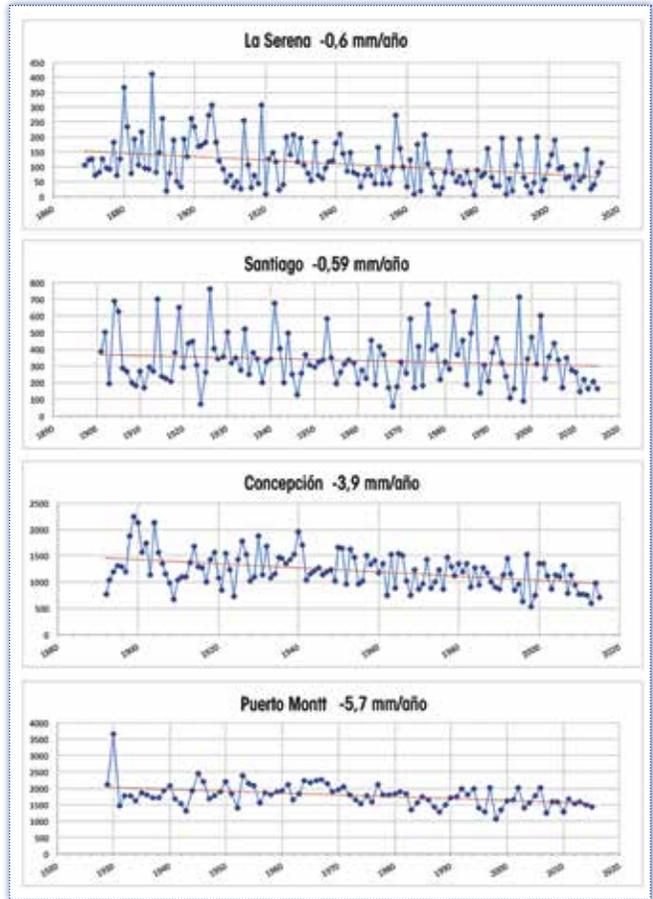
El alza cercana a 1°C que han experimentado las máximas en zonas interiores, tendría consecuencias sobre el número de días con temperaturas extremadamente altas (mayores a 33°C). La evapotranspiración ha ido igualmente al alza, aumentando los requerimientos de riego, especialmente en las especies pluri anuales (gráfico 11.9). Se espera que las demandas de agua incrementen en 5 a 8% por cada grado de aumento en la temperatura, lo que en una temporada podría significar una demanda adicional

de agua de hasta 800 m³ por hectárea. Al parecer esta disminución en zonas interiores y precordilleranas estaría siendo compensada por el aumento en la intensidad de las precipitaciones, lo que no estaría ocurriendo en zonas costeras. La disminución del número de días de lluvia, junto al aumento de su intensidad y al aumento de las tasas de evaporación, puede aumentar la presión hacia la erosión de los suelos, con los consecuentes riesgos de sedimentación de los lechos y cuerpos de agua. Esta combinación es igualmente negativa para la agricultura de secano y para el crecimiento de las praderas.

EL FUTURO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL TERRITORIO CHILENO

El agua es uno de los recursos que deberá 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 y que probablemente seguirá experimentando el régimen de lluvias. La fuerte reducción que se ha observado en 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. 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. En la cordillera de Los Andes se espera

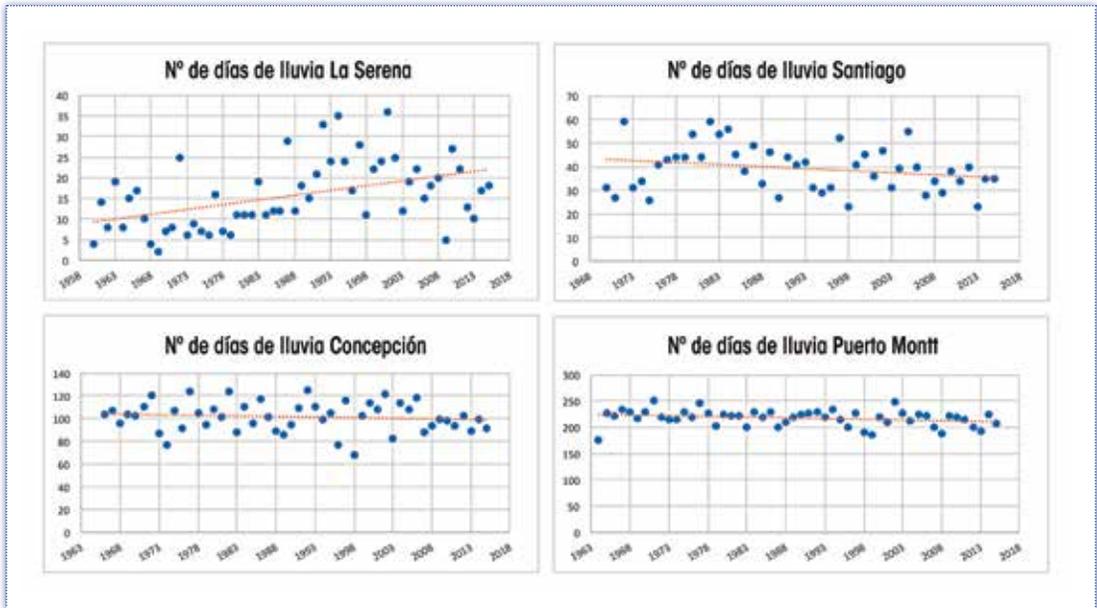
Gráfico 11.7 Tendencias de la precipitación total anual en Chile. La cifra al lado del título indica el cambio experimentado por la precipitación durante el siglo XX. En las regiones costeras la tendencia negativa es más marcada que en sectores interiores.



Fuente: *Elaboración propia.*

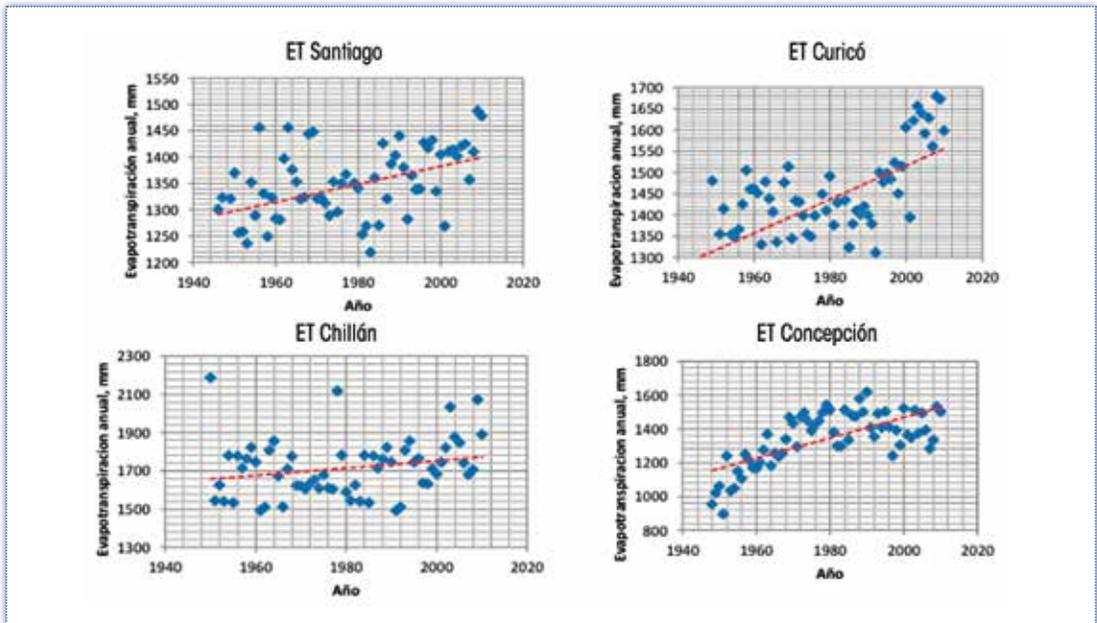
que la isoterma de 0°C suba entre 300 y 500 metros, reduciendo la capacidad de la cordillera de almacenar nieve, aun cuando la precipitación no varíe. La elevación de las líneas de las nieves en unos 500 metros entre el río Aconcagua y el Biobío, representa una pérdida de 400 a 450 millones de metros cúbicos de agua que ahora caerían en forma líquida y no sólida, por lo que dejarían de estar disponibles para la estación estival,

Gráfico 11.8 Variación del número de días de lluvia en varias localidades de Chile. Se aprecia una ligera tendencia decreciente en el tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 11.9. Cambios observados en las tasas de evapotranspiración en Chile central



Fuente: Elaboración propia.

cuando es requerida para el riego. Esto induciría una desregulación hidrológica que aumentaría la escorrentía invernal a la vez que crearía mayor riesgo de crecidas que pueden aumentar los riesgos de zonas pobladas (figura 11.1).

En las próximas décadas podríamos observar que se mantenga el alza en las demandas evapotranspirativas, presionando al alza los requerimientos de riego, particularmente en frutales. En el caso de los cultivos anuales esto no es tan seguro considerando que las fechas de siembra podrían desplazarse más al invierno, neutralizando las altas demandas de agua estivales.

Es probable que el número de días de lluvia continúe descendiendo durante las próximas décadas, debido al efecto de bloqueo que el anticiclón ejercerá al paso de los frentes, especialmente si se desplaza más al sur, lo que interceptaría la trayectoria de los frentes que se mueven desde el sur oeste (SO). Los modelos regionales proyectan para este siglo el mayor descenso en la precipitación, entre las regiones de Valparaíso y Biobío, lo que podría afectar fuertemente a la agricultura del seco costero.

Otro aspecto interesante, es que lo más probable es que el viento aumente su intensidad, especialmente en zonas costeras y cordilleranas. Una atmósfera más caliente igualmente tiende a aumentar la intensidad y frecuencia de lluvias convectivas, es decir, aquellas lluvias súbitas que producen chubascadas de gran intensidad, asociadas a tormentas eléctricas y granizo. Esto último tiene dos caras. La cara buena es que esto podría ayudar a recargar las reservas de agua en las cuencas. La cara mala es que podría aumentar la frecuencia e intensidad del granizo en zonas agrícolas. El mayor ingreso de masas de aire desde el océano

hacia el continente, con más humedad y frescor, podría aumentar la nubosidad de una extensa franja territorial cercana al litoral, la que podría ingresar algunas decenas de kilómetros hacia el interior, creando un corredor donde el alza de la temperatura se vería considerablemente atenuada.

La corriente de Humboldt actúa en Chile como un verdadero sistema de climatización, pues al subir la temperatura de la atmósfera, el viento toma mayor velocidad sobre el océano, haciendo que las aguas profundas y frías del océano suban a la superficie en mayor cantidad enfriando las aguas del Pacífico cercanas al litoral. Con esto, las masas de aire que ingresan al continente se ven más refrescadas al pasar sobre las aguas frías del océano. Este mismo enfriamiento, más el aumento de la actividad convectiva de la zona intertropical, haría que el anticiclón del Pacífico tienda a desplazarse más al sur de Chile. Es posible que esto tenga además como consecuencia que sólo los frentes dotados de más energía logren franquear al anticiclón, trayendo lluvias con menor frecuencia a la zona central. Quizás por esta razón es que el número de lluvias anuales ha tendido a disminuir en los últimos 100 años, tendencia que podría prolongarse por algunas décadas más.

LOS DESAJUSTES DE LA DEMANDA Y OFERTA DE AGUA EN CHILE

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 de Chile. El aumento desmedido de la demanda por

Figura 11.1 Alza esperada en el límite inferior de las nieves, lo que amenaza con reducir la capacidad de regulación hidrológica de la cordillera.



Fuente: Elaboración propia

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. Contribuyen a esta situación, el despoblamiento 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” (Santibáñez *et al.*, 2015).

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), sólo habría 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 sólo 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 1.030 millones de m³, de lo que aportarían las aguas superficiales unos 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 1.400 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. 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. Las cifras anteriores se refieren a promedios históricos. No podemos dejar de lado la fuerte variabilidad de las precipi-

taciones 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 déficits se agravan aún más. Esto hace fuertemente inestable el balance hídrico de los ríos de la zona central y norte de Chile, poniendo frecuentemente en riesgo la seguridad de riego (gráfico 11.12).

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 (tabla 11.4). 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, lo que es claramente insuficiente durante sequías prolongadas como la que estamos atravesando entre 2008 y 2015. Una sequía de esta duración agota cualquier sistema de regulación hidrológica.

En general los ríos muestran claros indicadores de estrés a partir de la Región Metropolitana al norte. En cifras globales anuales pareciera que este estrés no es tal, considerando que la relación caudal sobrante/afluente está por sobre el 50% desde el río Choapa al sur y sobre 100% del Rapel al sur. Estas cifras esconden el déficit de agua en el periodo estival, el cual está siendo recurrente al menos



LO QUE TRAERÍA EL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA ZONA CENTRAL DE CHILE

Según las tendencias observadas y los pronósticos que hacen los modelos mundiales del clima, los climas del futuro debieran variar según las tendencias siguientes:

- **Disminución de la precipitación en zonas costeras mayormente.**
- **Disminución del número de días de lluvia.**
- **Aumento de la energía de la precipitación.**
- **Aumento del contenido de vapor del aire**
- **Aceleración de la escorrentía por disminución de la precipitación sólida.**
- **Aumento de la evapotranspiración y requerimientos de riego.**
- **Posible disminución en la recarga de las napas.**
- **Mayor arrastre de sedimentos.**
- **Temperaturas máximas más altas en zonas interiores y más bajas en sectores costeros.**
- **Disminución del frío invernal.**
- **Aumento del estrés térmico de las plantas.**
- **Aumento del viento.**
- **Aumento de la nubosidad, especialmente en un corredor de 60 km desde la costa.**

hasta el río Maule. Este estrés se debe fundamentalmente a la fuerte estacionalidad de la demanda de agua, lo que refleja la estacionalidad de la agricultura, cual es el principal consumidor de este recurso (Universidad de Chile, 2012).

En los últimos 20 años, la seguridad del riego se está viendo limitada por la disponibilidad de agua desde Maule al sur; lo cual es una paradoja si se observa que del Maipo al sur el caudal sobrante de los ríos supera al 90%. Esto es debido mayormente a que esto no refleja la verdadera situación de los ríos durante la estación de verano. La mayor parte del "excedente" hidrológico de los ríos es vertido al mar en la estación invernal ya sea por su uso en la generación de energía, ya sea por la falta de capacidad de almacenamiento. En este ámbito de estrechez hídrica, el mercado del agua no

asegura el agua para la agricultura por cuanto esta debe salir a competir por el recurso con otras actividades económicas con mayor capacidad de pago, como la industria, la minería o el agua potable. Es así como en las regiones de más al norte (Atacama y Coquimbo), muchos DAA han sido transferidos desde la agricultura a la minería. Es probable que esto se propague a Valparaíso y la Región Metropolitana en los próximos años, con lo cual la agricultura en estas regiones se podría ver fuertemente contraída, como ha ocurrido en Atacama.

La demanda agrícola de agua está en directa relación con la superficie cultivada en riego, el tipo de especies, las condiciones climáticas de cada año y la tecnología de riego. En general todos estos factores han empujado al alza las demandas de agua en las últimas décadas,

salvo la tecnología de riego que ha tendido a mejorar la eficiencia de esta práctica haciendo decrecer la demanda de agua por unidad de tierra regada. Para integrar todos estos factores el Centro de Agricultura y Medio Ambiente desarrolló un modelo de cuenca que determina la curva integrada de demanda de riego en cada cuenca, desde el inicio de la temporada de riego hasta el fin de ella.

Algunas de las curvas se muestran en el gráfico 11.10.

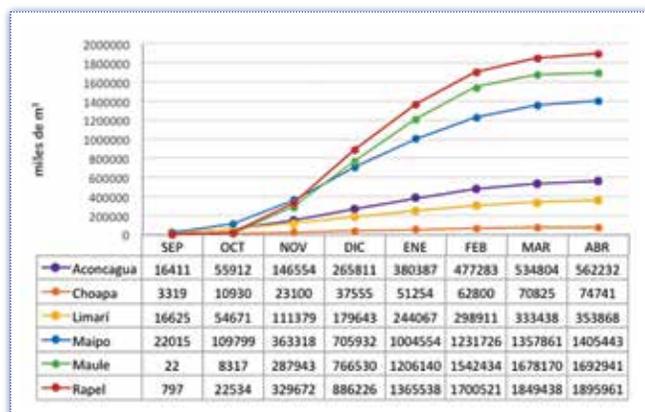
En la tabla 11.5 se resumen algunos componentes del balance del agua para la agricultura entre Atacama y Biobío. Se aprecia en estas cifras, la existencia de un déficit hídrico estructural entre Atacama y la Región Metropolitana (gráfico 11.11). Como este balance refleja sólo a las aguas superficiales, es probable que

Tabla 11.4 Capacidad de almacenamiento de agua por la infraestructura hidráulica regional.

EMBALSE	REGIÓN	CUENCA	CAPACIDAD	PROMEDIO HISTÓRICO MENSUAL	USO PRINCIPAL
Chonchi	II	Loa	22	19	Riego
Lautaro	III	Copiapó	26	11	Riego
Santa Juana	III	Huasco	166	125	Riego
La Laguna	IV	Elqui	40	24	Riego
Puclaro	IV	Elqui	200	132	Riego
Recoleta	IV	Limarí	100	68	Riego
La Paloma	IV	Limarí	748	425	Riego
Cogotí	IV	Limarí	150	82	Riego
Culimo	IV	Quilimarí	10	4,5	Riego
El Bato	IV	Choapa	26		Riego
Corrales	IV	Choapa	50	42	Riego
Aromos	V	Aconcagua	35	31	Agua potable
Peñuelas	V	Peñuelas	95	29	Agua potable
El Yeso	RM	Maipo	220	151	Agua potable
Rungue	RM	Maipo	1,7	1,5	Riego
Convento Viejo	VI	Rapel	237	203	Riego
Rapel	VI	Rapel	695	496	Generación
Colbún	VII	Maule	1.544	1.276	Generación y riego
Laguna del Maule	VII	Maule	1.420	969	Generación y riego
Bullileo	VII	Maule	60	57	Riego
Digua	VII	Maule	225	216	Riego
Tutuvén	VII	Maule	22	12	Riego
Coihueco	VIII	Itata	29	29	Riego
Lago Laja	VIII	Biobío	5.582	3.336	Generación y riego
Ralco	VIII	Biobío	1.174	839	Generación
Pangué	VIII	Biobío	83	75	Generación

Fuente: INE, Anuario del Medio Ambiente e Información de la DGA.

Gráfico 11.10 Demanda integrada de agua de riego en algunas cuencas de Chile. La demanda integra toda la superficie cultivada, diferenciando rubros con distinta tecnología de riego.



Fuente: Elaboración propia.

parte del déficit esté siendo cubierto por extracciones de aguas subterráneas, las cuales igualmente han mostrado tendencias negativas en las últimas décadas. Puede notarse que de la Región Metropolitana al sur los déficits reales o potenciales en años de sequía tienden a estar por debajo del 10% de los caudales sobrantes, es decir, ellos podrían ser perfectamente cubiertos por este en

caso de disponerse de mayor regulación hidrológica.

La mejora de la relación oferta demanda para por 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 lleguemos 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 de la cuenca del río 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

Tabla 11.5 Uso de los recursos por la agricultura entre Atacama y Biobío.

REGIÓN	QA	Qs	AGUA EXTRAÍDA	DEMANDA DE RIEGO	DISPONIBLE PARA RIEGO	DÉFICIT O SUPERÁVIT	DÉFICIT O SUPERÁVIT
			Km ³	Km ³	Km ³	Km ³	MMm ³
Atacama	0,19	0,05	0,13	0,12	0,05	-0,06	-64,22
Coquimbo	1,15	0,57	0,48	0,53	0,43	-0,10	-101,42
Valparaíso	1,20	0,60	0,57	0,65	0,45	-0,19	-192,06
Metropolitana	3,66	2,14	1,14	1,03	0,91	-0,12	-117,43
O'Higgins	4,10	4,66	2,05	1,58	1,84	0,26	264,67
Maule	8,10	15,25	4,05	2,24	3,65	1,40	1403,87
Biobío	20,15	26,81	8,06	1,25	4,84	3,59	3587,06
			16,47	7,39	12,17		

Qa: caudal afluente, Qs: caudal sobrante, Agua extraída: suma de todos los usos

Disponibles para riego: agua extraída menos otros usos

Fuente: Elaboración propia

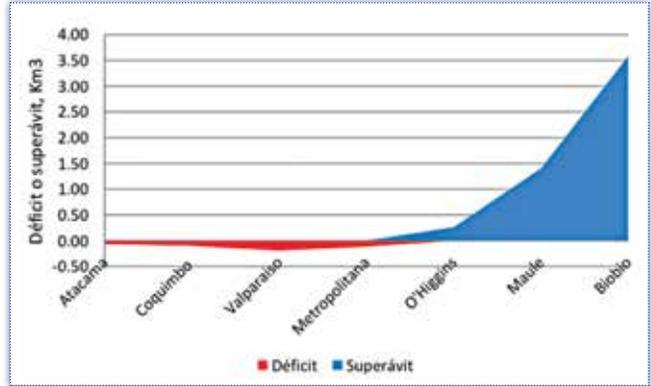
aumento en la eficiencia de uso del agua, reduciendo pérdidas en los sistemas de riego y en los canales de distribución, así como con un mejor ajuste entre demandas y oferta que, por ahora, parece estar desbalanceada.

RECURSOS HÍDRICOS, DESERTIFICACIÓN Y CAMBIO CLIMÁTICO

La degradación de la tierra es consecuencia de una combinación de factores humanos y climáticos. En el siglo XX, la temperatura cambió más rápido que en los siglos precedentes, tendencia que ha mostrado una aceleración en décadas recientes (Villalba et al, 2003. Las temperaturas mínimas han mostrado mayor tendencia al alza que las máximas, especialmente en las costas Occidentales y Orientales de Sudamérica (Vincent et al, 2005). En las costas Sur Occidentales del continente, en contacto con el Océano Pacífico, la precipitación mostró una tendencia negativa durante siglo XX. Es así el territorio chileno comprendido entre los paralelos 28 y 42 S, observó una declinación pluviométrica de 10% a 25% durante el siglo XX, especialmente en regiones costeras. Esto ha provocado un desplazamiento hacia el sur de las isoyetas del orden de 0,4 a 0,5 km por año. Una tendencia opuesta ha sido observada en la costa atlántica de Argentina y Brasil Meridional (IPCC, 2007). La variabilidad climática parece estar aumentando en todo el continente, haciéndose más frecuentes los eventos climáticos extremos de la sequía e inundaciones (Aguilar et al, 2005). A lo largo de toda la cordillera de Los Andes se observa un rápido retroceso de los glaciares y

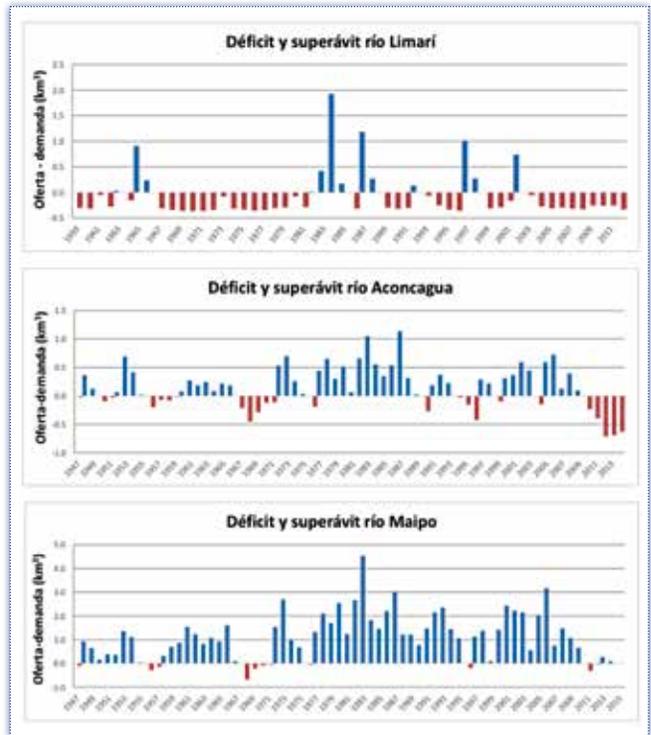
el permafrost, los que han perdido en promedio sus 300 metros inferiores en el último siglo (Pizarro y Cabrera, 2001).

Gráfico 11.11 Balance entre la demanda y la oferta de agua por región



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 11.12 Balance de oferta y demanda de agua en tres ríos que comienzan a dar señales de estrés.



Fuente: Dirección General de Aguas.

Algunos glaciares de la Argentina Meridionales y Chile han retrocedido cientos de metros, a la vez que han reducido su espesor a razón de un promedio de 100 centímetros por año. Los glaciares en Patagonia han retrocedido cientos de metros (1,5 km) sólo en las dos últimas décadas (CEC, 2011). Todas estas tendencias afectan la hidrología global de las cuencas andinas y afectando la disponibilidad de agua para la irrigación de áreas agrícolas importantes del Chile.

La aridización del régimen pluviométrico, junto a un aumento de la temperatura del orden de 0,5 a 0,6°C produjo una caída en los rendimientos de los cereales que hizo desaparecer casi por completo su cultivo en casi la totalidad de la Región de Coquimbo. Similar tendencia sufrieron el maíz y el comino. Las praderas naturales igualmente han visto reducida su productividad, afectando a crianza de cabras, la más importante fuente de sustento de las comunidades agrícolas de esta región. En general, el aumento de la variabilidad climática, así como la disminución pluviométrica en zonas de la costa ha hecho más azarosa la agricultura de secano en las últimas décadas (Santibáñez *et al.*, 2014).

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, siendo necesario implementar planes de emergencia con cierta frecuencia.

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 de la vertiente argentina.

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 ellas 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.

A parte de afectar los rendimientos de

los cultivos y especies forestales como pino y eucalipto, las variaciones climáticas afectarán la incidencia de plagas y enfermedades, la disponibilidad de aguas para el riego y, en ciertos casos, la calidad del producto final, como es el caso de la vitivinicultura.

Los ecosistemas naturales han iniciado un periodo de estrés climático debido a cambios en el régimen de lluvias y térmico. Pequeñas variaciones pueden causar grandes distorsiones en cadenas tróficas, en los polinizantes, en la reproducción de plantas y animales, en la capacidad competitiva de las especies nativas, cediendo espacio a especies invasoras, adaptadas a un rango más amplio de condiciones ambientales. Como los cambios climáticos están ocurriendo a una velocidad mayor al tiempo que las especies y los ecosistemas pueden adaptarse, es muy probable que durante este siglo se produzcan cambios significativos en la estructura y composición específica de importantes biomas del territorio, especialmente en la zona peri árida y árida que representa el borde sur del desierto de Atacama, regiones costeras con disminución de precipitaciones y áreas de altura en la cordillera de los Andes, donde el calentamiento podría ser más acelerado.

A parte del aumento en la frecuencia de ciertos extremos climáticos, el calentamiento global podría acarrear un aumento en la ventosidad, lo que podría convertirse en un factor de estrés y de aumento en las tasas de evapotranspiración, complicando con ello la gestión del riego. Este fenómeno deberá ser compensado con mayores inversiones en estructuras de reducción de viento.

Adicionalmente podría producirse un aumento de la frecuencia de precipitaciones de primavera verano y una disminución del número de lluvias de invierno.

Si bien podría observarse una disminución en el total de lluvia anual, las precipitaciones podrían aumentar en intensidad, lo que es particularmente relevante en los casos que ellas coincidan con el periodo de fructificación de las cosechas o durante la época en que el suelo está descubierto de vegetación y vulnerable a la erosión.

Todos estos cambios ejercerán efectos encadenados sobre los ecosistemas naturales y agrícolas, lo que hace difícil pronosticar cuan positivos o negativos serán sus efectos. En general existe un cierto consenso en que las condiciones climáticas serán algo más hostiles y azarosas, por lo que será necesario implementar estrategias de control de riesgos, de reducción de estrés o simplemente, relocalizar los cultivos evitando con ello enfrentarse a los riesgos. La agricultura tiene una gran tarea para adaptarse a estas nuevas situaciones, sin que ello signifique un aumento de costos que haga perder competitividad al sector

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 se descarta 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 sólo 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, entre otros). Durante los años 50 y 60 se realizaron grandes esfuerzos en mejorar la infraestructura de regulación hidrológica, habiéndose construido una capacidad cercana a los 4.000 millones

de m³ solo en dos décadas. Entre los 70 y 90 no hubo progresos significativos al respecto, habiéndose retomado esta inversión después de los 2000, para llevar la capacidad de almacenamiento de agua a cifras algo superiores a los 5.000 millones de m³ (gráfico 11.13).

Aunque durante la estación estival la escorrentía muchas veces es inferior a la demanda de riego, esta diferencia es cubierta por el agua embalsada durante la estación invernal razón por la cual el déficit no aparece en toda su magnitud. Existen diferencias importantes entre la capacidad de regulación de que dispone cada región en Chile. Biobío aparece como la región mejor dotada en esta materia, por cuanto su capacidad potencial de embalse corresponde a 5 años de consumo (en el supuesto de que toda el agua fuese usada para la agricultura, cual no es el caso). Luego, las regiones del norte (Atacama y Coquimbo), Valparaíso y O'Higgins son las más deficitarias, disponiendo de una capacidad de embalse largamente inferior a un año de consumo (tabla 11.6).

A principios de los 1900 no había más de 500 mil hectáreas regadas en Chile. Hacia 1970, habían más de un millón, como consecuencia de una fuerte inversión del Estado en infraestructura (Salazar, 2003). En las últimas dos décadas el área regada creció apenas en 30.000 ha (3%), pues el esfuerzo privado y del Estado se focalizó en la tecnificación de los sistemas de regadío. Desde los años 90, el área con riego tecnificado (tabla 11.7) pasó del 9 al 28% del área regada (INE, 2007). Desde 1985 la Comisión Nacional de Riego (CNR) ha fomentado la tecnificación a través de la Ley de Fomento al Riego (Ley N° 18.450), aportando subsidios para infraestructura y sistemas de riego tecnificado. (Banco

Tabla 11.6 Relación entre la capacidad de embalse y las demandas de agua de riego.

	SUPERFICIE (HA)	CAPACIDAD EMBALSES HM ³	CAPACIDAD/CONSUMO N° AÑOS
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
Bío Bío	166.573	6.868	5,50

Fuente: MOP, 2010.

Gráfico 11.13 Evolución de la capacidad de los embalses en Chile.



Fuente: MOP, 2010.

Mundial, 2011).

A pesar de los grandes esfuerzos realizados por el país en materia de infraestructura hidráulica, en los próximos años se requerirá seguir intensificando la cobertura del riego tecnificado que aún es baja, hacer mejoras significativas en los sistemas de distribución de agua, incluyendo telemetría, revestimiento y entubado de canales, optimización de trazados de canales, sistemas de inyección de agua para recarga de napas, pequeñas y medianas obras de almacenamiento de agua. Se requiere buscar los medios de financiamiento de las 25 obras mayores de acumulación, cuyos proyectos ya superaron el diseño técnico y que obran en poder del Ministerio de Obras Públicas, MOP.

Las cifras avalan la existencia del espacio hidrológico para aumentar la capacidad de regulación hidrológica de importantes cuencas a partir del Maipo al sur. La relación entre la disponibilidad total de agua en la cuenca y la proporción usada en riego muestra saldo aún muy favora-

ble como para pensar en la posibilidad de mejorar la capacidad de regulación hidrológica de estas cuencas. El gráfico 11.14 muestra la disponibilidad de agua en algunas cuencas y las demandas actuales de riego de la misma cuenca. Es necesario considerar que parte de las demandas de riego son suplidas por extracciones de agua subterránea, lo que agranda algo más la brecha.

HACIA UNA GESTIÓN EFICIENTE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Los dos recursos naturales claves para el éxito del desarrollo chileno durante el siglo serán el agua y la energía. Paradójicamente, ambos recursos son, en cifras globales, relativamente abundantes en el territorio. Respecto de los recursos hídricos, Chile dispone de 32.814 m³ de agua renovable por habitante, uno de los valores más altos de América Latina

Tabla 11.7 Tasas de tecnificación de regadío en Chile.

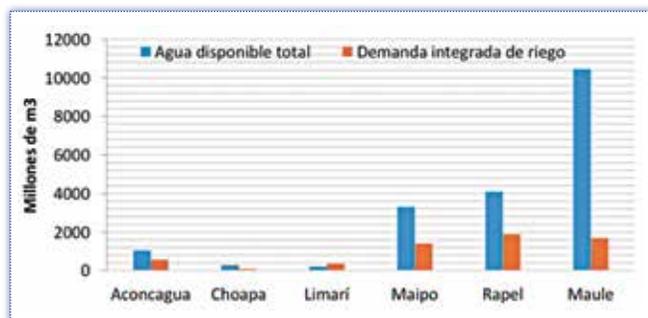
REGIÓN	CAMBIO EN LA SUPERFICIE REGADA	VARIACIÓN ÁREA RIEGO GRAVITACIONAL	VARIACIÓN ÁREA RIEGO MECÁNICO	VARIACIÓN ÁREA RIEGO PRESURIZADO
Arica Parinacota, Tarapacá	53	42	594	58
Antofagasta	-22	-23		-63
Atacama	38	9	5	64
Coquimbo	53	10	163	157
Valparaíso	25	-28	-20	205
Metropolitana	-6	-29	-37	274
O'Higgins	2	-41	-8	754
Maule	-6,5	-18	68	913
Biobío	-8	-19	639	858
Araucanía	-2	-24	97	673
Los Ríos y los Lagos	79	10	62	231

Fuente: Adaptado de Banco Mundial, 2011.

y el mundo, no obstante eso, las actividades económicas y la población se han concentrado mayormente en regiones áridas y semiáridas del país, habiendo comenzado a aparecer, en la últimas décadas, significativos cuadros de déficit hídrico para la minería, la agricultura desde la Región Metropolitana al norte. A diferencia del agua, donde el problema surge de una ausencia de visión territorial del desarrollo, la energía plantea más bien un problema tecnológico, por cuanto los recursos renovables abundan, como la solar, la eólica, marina y geotérmica, ninguna de las cuales cuenta en la actualidad con clara viabilidad económica para ser aprovechada en forma masiva. La escasez y los elevados costos de estos recursos estratégicos caracterizarán a este siglo, por lo que el país deberá iniciar una efectiva política de mejoramiento en la eficiencia de uso, en la generación de nuevas fuentes de agua a diferentes escalas y, probablemente el diseño de una estrategia de desarrollo territorial que fomente el desarrollo de las actividades económicas donde los recursos hídricos están asegurados. Chile dispone de grandes reservas de agua, con elevadas tasas de recuperación a partir del paralelo 39 al sur.

El país posee una institucionalidad significativa en materia de gestión del agua, no obstante esto, importantes progresos deberán hacerse hacia una óptima articulación de los distintos organismos responsables. Será necesario agilizar la capacidad operativa de estas, facilitando la tarea de implementar las políticas públicas y los programas de fomento que el país necesitará en un contexto de mayor estrechez hídrica. En un mundo global y cambiante se suceden transformaciones a las cuales las instituciones necesitan responder en plazos relativamente breves, evitando con ello la incubación de crisis o la perpetuación de tendencias negativas para la economía y la sociedad. El cambio climático no era tan evidente cuando se diseñó el actual Código de Aguas, en la práctica ocurrió en una extensa zona territorial, que se asignaran derechos de uso más allá de la real disponibilidad del recurso. En gran medida esto se debió a que en los años 80 y 90, el clima chileno atravesó por una situación de bonanza hidrológica. Varios Niños de gran magnitud y una sucesión de años con pluviometría relativamente normal, crearon un cuadro favorable que motivó la asignación de derechos sobre un recurso que comenzó a disminuir fuertemente a partir de los años 2000, cuando nos adentramos en una fase negativa de la PDO y se gestó la sequía más extensa de los últimos 100 años. La lección debe ser aprendida, en el futuro los recursos temporalmente variables, como el clima, deben ser evaluados según su disponibilidad en el ciclo más crítico. Adicionalmente, cabe mencionar que el Código de Aguas de 1981, abrió la posibilidad legal para acumular derechos de manera especulativa, lo que probablemente no fue previsto por el legislador. Todo esto hace necesaria su revisión, velando por

Gráfico 11.14 Relación entre la demanda de agua de riego y la disponibilidad bruta (escorrentía anual) de agua en algunas cuencas.



Fuente: Elaboración propia.

el debido resguardo del acceso equitativo a un bien público consagrado así en la Constitución de la República, por el respeto a los derechos adquiridos y por la necesidad de flexibilizar la gestión del agua en áreas de futuro crecimiento de la actividad agrícola como consecuencia del cambio climático. La ampliación de la infraestructura hidráulica del país creará nuevos DAA, cuya asignación no deberá replicar los errores del pasado.

En muchos casos la capacidad de adaptación de la agricultura, que es el mayor consumidor de agua, depende de la adopción de sistemas modernos y eficientes de riego, manejo altamente tecnificado de la fertilidad del suelo, de las técnicas de cultivo, de los pesticidas, de los necesarios aumentos en la eficiencia energética e hídrica, de una adecuada gestión del riesgo, de la existencia de alertas tempranas y de una capacidad para reaccionar frente a las amenazas climáticas, la disponibilidad de nuevos recursos genéticos, ambientalmente más estables y resistentes a plagas, enfermedades y niveles de estrés abiótico. Todas estas transformaciones deberán ocurrir en un contexto de mercados agrícolas inestables y elevados precios de los insumos, especialmente de la energía, justo a nuevas y estrictas restricciones ambientales. Muchos tipos de agricultura nunca lograrán adaptarse con la velocidad requerida sin la ayuda del Estado, lo que podrá llevar a importantes zonas a una marginalización progresiva, intensificando la pobreza rural.

El agua pasará a ocupar un rol extremadamente estratégico, en todo el mundo, como resultado del aumento del consumo, el deterioro de la calidad, el aumento en la variabilidad del ciclo hidrológico y la disminución de su disponibilidad en la mayor parte de las cuencas. Muchos

países, especialmente los más poblados, saldrán a “comprar agua” a través de la compra de alimentos al no tener agua para producirlos, es precisamente por esta razón que países como Chile, que disponen de agua, tienen una oportunidad que debieran aprovechar, lo que sólo ocurrirá con un plan de ordenamiento territorial de la agricultura y de los recursos hídricos.

Los impactos económicos y sociales, positivos o negativos que podrían acarrear estos cambios dependen de la capacidad que tendrá la agricultura chilena para absorberlos y neutralizarlos. Esta capacidad estará asociada a características estructurales como tipo de tenencia de la tierra, acceso a la tecnología y capital, y a las opciones productivas que permitan un cambio en el uso del suelo e infraestructura hidráulica en las regiones más afectadas o proveedoras de agua.

Se superpone al desafío del agua el fenómeno de la desertificación de importantes zonas del territorio, proceso complejo que no puede ser abordado desde un punto de vista puramente tecnológico, social o ambiental. Normalmente este proceso tiene raíces que se extienden en estas tres dimensiones, requiriendo un abordaje trasversal, multidisciplinario. Existen numerosos ejemplos de medidas de control de la desertificación, que han sido concebidas desde perspectivas puramente productivistas o puramente ambientalistas, las que sólo han durado mientras se mantiene el subsidio del Estado, sin llegar a una etapa de adopción sustentable por parte de las comunidades rurales. Para que esto ocurra, se hace necesario que las estrategias sean económicamente viables, es decir, tiendan al mejoramiento de las oportunidades y del ingreso de las comunidades, junto con agregar valor social, lo que

será garantía de su rápida adopción y sustentación futura. En muchos casos las propuestas requieren de una validación cultural, garantizando con ello, la ausencia de conflictos con la cultura local. A continuación mencionaremos algunas de las iniciativas que no debieran estar ausentes en una estrategia de mejora en la gestión hídrica del país.

Frente a la racionalización de los recursos hídricos, se requiere una rápida reacción, 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. Muchos proyectos de inversión se están desplazando desde el norte hacia el centro sur. Para facilitar y ordenar 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 elevó el problema a la máxima importancia, con un mandato directo desde la presidencia de la república.

Es probable que necesitemos programas de capacitación más intensivos. La población debe comprender la dimensión del problema que trae la 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 sólo en Chile, que el cambio climático es en gran medida 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 décadas 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, más 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 Estados Unidos, 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.

Tecnificación del regadío

El país tiene una larga tradición de riego, no obstante lo cual no existe una verdadera cultura del agua. Es así, como la

mayor parte de la agricultura aun utiliza sistemas de riego altamente ineficientes, con cifras inferiores al 50% y en muchos casos, menores a 40%. Se requerirá en el futuro un plan de transferencia tecnológica, acompañado de subsidios a la tecnificación del riego, que eleve la tecnología de riego permitiendo disminuir los impactos de las sequías periódicas que podrían hacerse más frecuentes.

La pequeña agricultura por lo general tiene limitado acceso a los recursos hídricos, lo que la pone en situación de alta vulnerabilidad. Se requiere diseñar sistemas de riego y de conservación de agua acordes con las características económicas y tecnológicas de estos agricultores, a bajo costo, aplicable a pequeñas escalas. Mucho de estos sistemas pueden ser de autoconstrucción como los sistemas de cosecha de aguas lluvia, los sistemas de infiltración para recargar el agua del suelo, los sistemas de riego sub-superficial. Importante es realizar una recopilación de técnicas tradicionales, las cuales fueron abundantes en el periodo pre colonial en la región.

Junto con la tecnificación de las prácticas de riego a nivel predial, se requerirá de un esfuerzo sistemático por mejorar los sistemas de distribución del agua entre los diversos sectores de riego y al interior de cada sector. No sólo se deberá avanzar en el revestimiento o entubado de canales de riego, sino en el uso de la automatización y la telemetría que permitan una mejor, más segura y equitativa asignación de las aguas entre regantes. Al respecto ya existen experiencias exitosas en Chile.

Microsistemas de cosecha de agua

Debido a la falta de infraestructura de almacenamiento, una proporción impor-

tante de aguas de escorrentía de pequeñas quebradas y microcuencas van al cauce principal sin aprovechamiento alguno durante la estación de lluvias. Esta iniciativa busca fomentar el aprovechamiento de estos recursos mediante pequeñas obras que permitan retener y almacenar esta agua, para su uso posterior en el riego de micro perímetros. A través de pequeños diques se pueden crear pequeños tranques acumuladores, desde donde se deriva el agua, gravitacionalmente o por sistemas de bombeo, hacia pequeñas parcelas de riego. Donde estas técnicas son usadas (norte de África, España, Brasil), el agua se emplea para regar pequeñas parcelas plantadas con especies rústicas y altamente resistentes a la sequía (higueras, olivos, nopales, especies forrajeras), previniendo años en que la acumulación de agua pudiera ser escasa. Una variante de esta técnica consiste en la construcción de muros de piedra en las laderas, siguiendo la curva de nivel, de modo de retener el agua y los sedimentos provocados por la propia erosión. Con el tiempo, tras el muro se va acumulado una capa de sedimentos a la vez que una área de concentración de las aguas lluvias que conserva humedad por varios meses, lo que se aprovecha plantando especies resistentes a la sequía justo al lado superior del muro, de modo de aprovechar esta condición creada y que permite una producción de fruticultura de secano, la que en Chile podría ir acompañada de pequeñas agroindustrias de frutos secos (higos, damascos, ciruelos), constituyéndose en una opción de diversificación de ingresos en zonas costeras especialmente.

En una etapa inicial se requiere la implementación de experiencia piloto en predios demostrativos, para lo cual debiera existir un fondo especial. En la etapa de

masificación los interesados debieran presentar proyectos tras cuya evaluación de viabilidad podrían acceder a subsidios para su implementación.

Las tecnologías de cosecha de agua en pequeña escala son prácticamente inexistentes en el país. Se hace necesario orientar algunos de los subsidios estatales a la construcción de estas estructuras, particularmente en regiones costeras y precordilleranas, con topografías complejas. En regiones costeras esto podría ser particularmente considerando las ventajas que ofrecerá la franja costera para la producción de especies cuyo potencial podría verse deteriorados algunos kilómetros más al interior del territorio. Cálculos preliminares muestran que la eficiencia productiva del agua de riego sería más elevada en una franja costera de unos 40 km desde el litoral, que en climas francamente interiores. Las técnicas de cosecha de agua pueden ser usadas tanto para generar agua potable como para abastecer pequeñas áreas de riego, orientadas a la producción de alimentos de subsistencia e incluso, pequeñas producciones con fines de generación de ingreso.

Cambiar la geografía de la agricultura regada de Chile: agua para la agricultura o agricultura para el agua

El gran dilema de Chile es que dispone de un territorio generoso en recursos hídricos como pocos países. No obstante, hay dos problemas de origen natural que resultan estructurales en la relación agua/agricultura. El primero de ellos es que una gran proporción del flujo anual de escorrentía ocurre en invierno, cuando la agricultura no requiere de este recurso, lo que hace que la única forma de aumentar el aprovechamiento del agua de

las cuencas sea por una mayor capacidad de regulación mediante embalses. El segundo, se refiere a la distribución territorial del agua. La zona norte y central, que disponen de un clima privilegiado para la agricultura, tienen menos disponibilidad de agua. En la medida que el agua va siendo más abundante hacia el sur, el clima va presentando mayores limitaciones para la agricultura. Esto nos lleva al desafío de como reunir agua y clima pues donde el clima es generoso el agua es limitante, donde el agua es abundante el clima es restrictivo. Los cambios climáticos de alguna forma podrían ayudar a resolver este dilema, por cuanto las condiciones térmicas favorables de la zona central se desplazarían algunos cientos de kilómetros al sur, incursionando en regiones con mayor abundancia de agua. En dicho escenario subsiste el dilema que el país tendrá frente al aprovechamiento de las condiciones climáticas excepcionales que seguirá teniendo más al norte, probablemente en una franja costera más regulada por la influencia oceánica, y que seguirá teniendo limitaciones de agua, incluso más acentuadas si se mantiene la tendencia decreciente de la precipitación en dichas áreas. Por esto, aunque parte de la agricultura de la zona central se desplace hacia el sur, persistirá el interés por aprovechar un buen potencial productivo que mantendrá el corredor costero, por lo que la demanda de agua para estas regiones centrales persistirá.

Es decir, el dilema es llevar agua a la agricultura de la zona central o llevar la agricultura de la zona central a las regiones más australes que disponen de agua, se mantendrá muy vigente durante este siglo. Probablemente ambas cosas van a ocurrir y veremos el surgimiento de importantes proyectos agrícolas asociados a la expansión del riego en la zona

sur, los que aprovecharán el alza de unos 2°C que ampliarán las opciones productivas del sur del país y, paralelamente, veremos proyectos de ingeniería para el transporte de agua desde las regiones con abundancia hacia las regiones más secas, pero con elevado potencial agrícola. La capacidad que el país tenga para conducir ambos procesos será fuertemente determinante de su capacidad para seguir siendo potencia exportadora de alimentos, en un mundo que probablemente verá fuertemente amenazada la producción de alimentos en este siglo. Si el país resuelve bien y a tiempo estas cuestiones, probablemente transforma el cambio climático en una oportunidad única gracias a su ubicación en el planeta y a las características de su territorio, que nos abren estas posibilidades.

Poner una mirada de futuro al servicio del presente

Además de las mejoras tecnológicas listada previamente, hay varias líneas transversales que no deben estar ausentes en un plan de adaptación. Una de ellas es la necesidad de mejorar la “gobernanza del agua”, es decir, la armonización estructural y funcional de las instituciones encargadas de llevar adelante las políticas de mejora en la gestión de agua. El agua es una de los varios recursos naturales que requieren de una mirada estratégica permanente que evite al Estado y a los privados, cometer errores cuya enmienda resulta onerosa. Especial mención cabe hacer a la necesidad de crear grupos de trabajo multidisciplinarios que modelen el sistema agrario nacional, provincial y local, en orden a desarrollar una “capacidad prospectiva agrícola” que le permita al país incorporar las proyecciones de mediano y largo plazo del cambio climático y de las ne-

cesidades de adecuación de la agricultura frente a cada una de las amenazas provenientes de los escenarios climáticos previstos. Igualmente importante es la evaluación de los *hotspots* de vulnerabilidad y exposición que podrían crear problemas de marginalización agrícola y social. Esta capacidad podría contribuir grandemente a encauzar el desarrollo hacia senderos sustentables. Un informe periódico sobre el “estado del futuro” sería fuertemente orientador para definir los énfasis y la focalización de las políticas públicas.

En el mundo hay numerosos centros de prospectiva que cumplen importantes roles para sus gobiernos. Algunos de estos son: el *Future Studies* (Hawái), *World Future Studies Federation* (WFSF), grupo *Futuribles* de Francia, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), el proyecto Milenio. Sólo mirando el futuro podemos juzgar si se está actuando bien en el presente.

Una mirada multidisciplinaria de la vulnerabilidad

Una herramienta con alto potencial para optimizar las políticas públicas es el desarrollo de la capacidad para evaluación de la vulnerabilidad de los sistemas agrarios, incluido su contexto social y ambiental, en varias escalas. Se necesita para ello, crear las capacidades de trabajo multidisciplinario para abordar el problema desde las perspectivas sociales, culturales, económicas, tecnológicas, biológicas y ambientales (Barrow, 2006). De este análisis emanarán las rutas críticas para el éxito de las estrategias de adaptación, lo que es esencial para orientar las acciones hacia estas barreras, cuya superación darán más fortaleza a la agricultura local para enfrentar los nuevos escenarios climáticos.

Sintonía “climáticamente inteligente” de la agricultura

La Conferencia de las Partes de la Convención de Cambio Climático realizada en París (COP 21), enfatiza la necesidad de avanzar hacia una “agricultura climáticamente inteligente”, es decir, una actividad que entre en sintonía con los cambios globales, con mínima huella ambiental, altamente eficiente en el uso de insumos, altamente resiliente, productiva y sostenible. Para hacer esto posible, será necesario conocer profundamente las singularidades sociales, ambientales y culturales de cada grupo humano, de sus necesidades y sus saberes. Agregar inteligencia a la agricultura es mucho más que agregar tecnología, es diseñar sistemas que aprovechen al máximo los recursos y las capacidades locales, evitando desequilibrios que a la larga son de alto costo de mantenimiento (Santibáñez, 2015).

Para dotar a la agricultura de una capacidad de adaptación a un clima más extremo e inestable, necesitamos de información, métodos de diagnóstico, modelos de evaluación que aporten una visión sistémica de los problemas del desarrollo frente a las amenazas. En el caso chileno, el cambio climático pondrá a prueba nuestra capacidad para hacer una gestión más eficiente de los recursos hídricos. La mantención y ampliación de nuestra capacidad exportadora de alimentos dependerá fuertemente de cuanto nos adaptemos a un clima más variable, algo más extremo y a una hidrología menos favorable. El problema no pareciera estar en una reducción significativa de la cantidad del agua que aportan las cuencas, sino más bien en una dinámica hidrológica más desfavorable asociada a la aceleración del ciclo del agua en la mayor parte de nuestras



cuenas. Por costoso que ello sea, la ampliación de la capacidad de regulación de las cuencas parece ser inevitable y urgente. Todo parece indicar que, si solucionamos el problema del agua, habremos solucionado la mayor parte de la amenaza del cambio climático.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El cambio climático se ha venido manifestando desde hace un siglo en el territorio chileno, habiéndose producido una cierta aceleración en la aparición de los síntomas a partir de los años 80. La manifestación de este proceso es bastante coherente con lo que pronostican los modelos regionales disponibles: una disminución gradual de las precipitaciones totales anuales, un aumento sostenido de las temperaturas máximas y mínimas en regiones interiores, un refrescamiento de las temperaturas diurnas en zonas costeras, una elevación de las isoterma afectando a las reservas de nieves en la cordillera de Los Andes y un ligero cambio de estacionalidad de las precipitaciones. Se agregan a estos síntomas un aumento en la frecuencia de temperaturas elevada principalmente en verano, un aumento en la frecuencia del granizo y de las heladas de origen polar, un aumento en la intensidad de las precipitaciones.

Varios otros síntomas secundarios podrían aparecer en las próximas décadas, como un aumento de la persistencia y cobertura de la nubosidad costera, aumento del viento, de las tormentas convectivas y de la humedad del aire. Las consecuencias hidrológicas se reflejarán en un aumento en la escorrentía invernal, disminuyendo la estival. Todo esto va en la misma dirección, cual es la

de instalarse un clima algo más amenazante para la agricultura, más inestable y estresante. En síntesis, el mayor desafío en materia de cambio climático para Chile lo representa la gestión de un recurso estratégico, como es el agua. La aridización de una parte importante del territorio será una consecuencia conjunta de una cierta disminución de las precipitaciones, la cual será más notable en zonas costeras, más atenuada en regiones interiores y probablemente imperceptible en zonas andinas, como lo han venido sugiriendo las tendencias recientes. De mantenerse esta tendencia, probablemente el volumen total de la escorrentía no debiera mostrar significativas bajas, sino más bien un cambio de régimen el que se requerirá manejar con mayores capacidades de regulación, mayor eficiencia en el uso del agua y cambios en las demandas territoriales de agua (DGA, 2007). Esto último implica un desplazamiento del consumo hacia regiones con mayor oferta de agua, particularmente de la agricultura que es el mayor demandante. Este desplazamiento en cierta forma ya comenzó de forma espontánea a partir de los años 90, cuando muchos proyectos agrícolas comenzaron a buscar asiento al sur del Biobío. Sin embargo, este proceso se encontrará con dos problemas mayores que requerirán de una acción bien planeada por parte del Estado: la falta de infraestructura de riego y el acceso al agua, cuya propiedad ya ha sido copada principalmente por las generadoras eléctricas. Siendo el crecimiento y la intensificación de la agricultura al sur del Biobío una realidad y una necesidad para mantener la capacidad exportadora de alimentos del país, esta situación merecerá especial atención en las próximas décadas.

Las deficiencias de infraestructura de riego al sur del Biobío requerirá de importantes inversiones tanto en materia de capacidad de almacenamiento, como en materia de sistemas de distribución, en territorios de topografía mucho más compleja que lo que se ha hecho en la zona central. Tratándose de regiones claramente más lluviosas que la zona central, en muchos casos es probable que no se requieran grandes obras sino más bien obras pequeñas y medianas, replicables en gran número, capaces de proveer agua a pequeños perímetros de riego. Parte de la solución podrá venir de obras de cosecha de agua, en pequeñas quebradas con escorrentía temporal, obras de almacenamiento de derrames y obras de recarga de acuíferos en casos particulares donde estos estén confinados por la topografía del subsuelo.

Los nuevos DAA que se generen como consecuencia de la ampliación de la capacidad hidráulica del país, deberán otorgarse en base a acuciosos estudios que dimensionen realísticamente el recurso disponible, incluida su variación interanual de modo de trabajar con niveles de seguridad elevados en el abastecimiento futuro.

La experiencia ha señalado que el agua no puede verse como un recurso aislado, separado de la gestión del territorio que la genera. Desde esta perspectiva será necesario seguir profundizando el concepto de gestión de cuencas, considerando que a futuro el uso de agua por la agricultura será cada vez más consuntivo debido al aumento de la eficiencia de riego que se producirá con los sistemas de alta eficiencia que deberán masificarse. Esto hará que las recuperaciones de aguas en las partes bajas de la cuenca irán menguando, manteniéndose sólo aquella asociada a los usuarios no con-

suntivos como la industria y la ciudad. Especial atención merecerá la mantención de la calidad de las aguas. Muchos ríos se encuentran en niveles críticos de calidad como consecuencia de los vertidos industriales, sanitarios y por la contaminación difusa. Un mayor rigor en la aplicación de la normativa y posiblemente nuevas exigencias en materia de zonas *buffer*, filtros o restricciones serán necesarias para mantener los ríos dentro de norma. Esto será especialmente importante considerando que el factor dilución será cada vez menor en la medida que los usos del agua acerquen el caudal al caudal ecológico. La no atención de esto podría afectar fuertemente a la agricultura de las partes bajas de los valles (Brown y Saldívar, 2000). Es necesario recordar que, en el futuro las demandas de agua podrían aumentar fuertemente en las partes bajas de las cuencas, donde la regulación climática del océano opere favorablemente creando condiciones adecuadas para la agricultura en un corredor de 50 a 60 kilómetros de ancho por unos 1.000 kilómetros de largo entre Elqui y La Araucanía.

Por grande que sea el esfuerzo que el país deba hacer para salir airoso en el salvataje de su agricultura frente al cambio climático, todo indica de que se trata de una acción estratégica ineludible si se considera que las exportaciones silvoagropecuarias pasarán a ocupar un importante lugar en el desarrollo de la economía chilena.

Cualquiera sea el escenario para los alimentos, la demanda de éstos sólo puede crecer a futuro. En un mundo en el que cada vez será más difícil producirlos debido al rigor del cambio climático, Chile podría mantener interesantes ventajas competitivas en la medida que haga una buena gestión de sus recursos hídricos.