

Los recursos hídricos de las Américas en los nuevos escenarios climáticos

La visión desde el proyecto VACEA*

Fernando Santibáñez

Profesor de agroclimatología

Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agronómicas

Universidad de Chile

La humanidad se encamina a un cambio climático cuyas evidencias son cada vez más claras e irrefutables. Los más de 7000 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 1000 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 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 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 F and Santibáñez, 2007).

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).

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 and 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 and 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.

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 (Figuras 1 y 2.). 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 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” (Figura 3).

¿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 3587 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. (Figura 6). 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 (Figura 4, Cuadros 1 y 2). 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) (Figura 5 y cuadro 3).

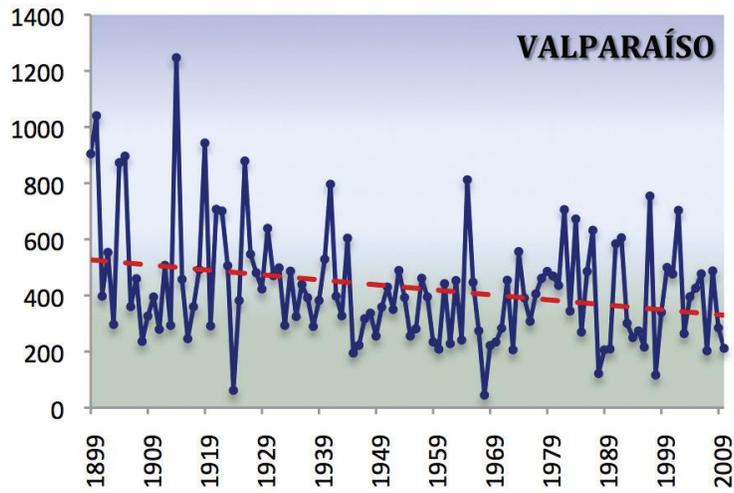


Figura 1. Tendencia de la precipitación durante el siglo XX en la costa chilena

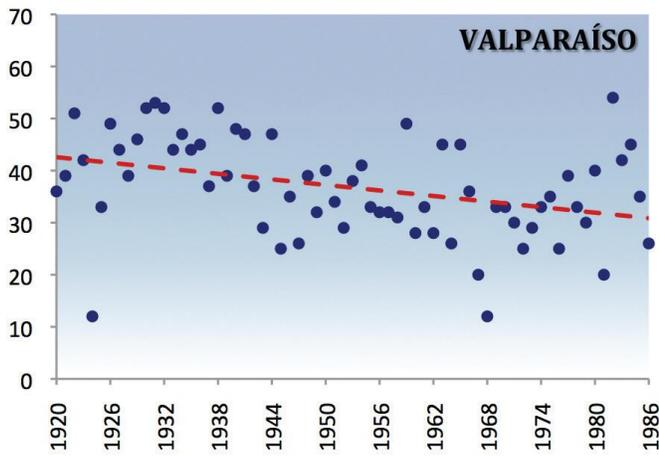


Figura 2. Serie histórica del número de días de lluvia de Valparaíso. Período 1920 – 1986

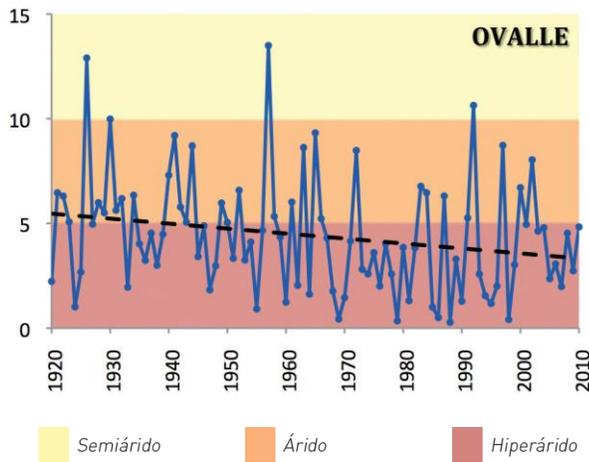


Figura 3. Tendencia al aumento de la aridez de los climas del norte y centro del país.



Figura 4. Relación entre la oferta y demanda de agua en el valle del río Aconcagua. La línea roja indica la demanda (agricultura+minería+industria y ciudad). La azul indica la oferta. Obsérvese el gran número de años con deficiencia hídrica.

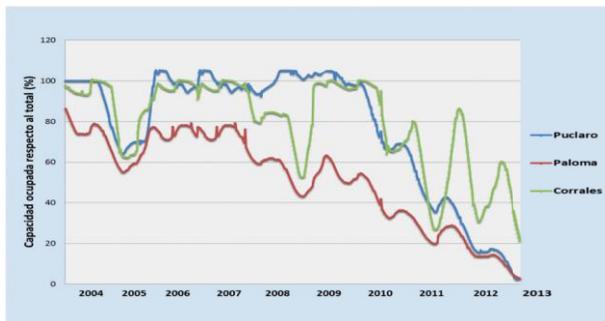


Figura 5. Tendencia del agua almacenada en los embalses de la región de Coquimbo en los últimos años.

Son numerosos los factores naturales que se conjugaron 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.

Cuadro 1. Agua aportada por las precipitaciones (PP), caudal afluente (Qa) y sobrantes (Qs) en algunas cuencas.

Region	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
Valparaiso	6.65	1.20	0.60	0.50
Metropolitan	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
Biobio	77.80	20.15	26.81	1.33
	168.84	38.55	50.09	

Elaborado por el autor

Cuadro 2. Uso de los recursos por la agricultura entre Atacama y Biobío

Region	Agua utilizada Km ³	Demanda Para riego Km ³	Disponible	Déficit o
			para uso agrícola Km ³	superávit 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	1403.87
Biobio	8.06	1.25	4.84	3587.06
	16.47	7.39	12.17	

Elaborado por el autor.

Agua utilizada = Qa-Qs, 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.

Cuadro 3. Relación entre la capacidad de regulación y las demandas de agua

	Superficie	Capacidad	Agua embalsada/
	regada	Embalse,	demanda riesgo
	has	Millones m ³	
Atacama	19533	201	1.72
Coquimbo	75713	1298	2.45
Valparaiso	86157	95	0.15
Metropolitana	136756	258	0.25
O'Higgins	210692	237	0.15
Maule	299102	1722	0.77
Biobio	166573	6868	5.50

Elaborado por el autor.

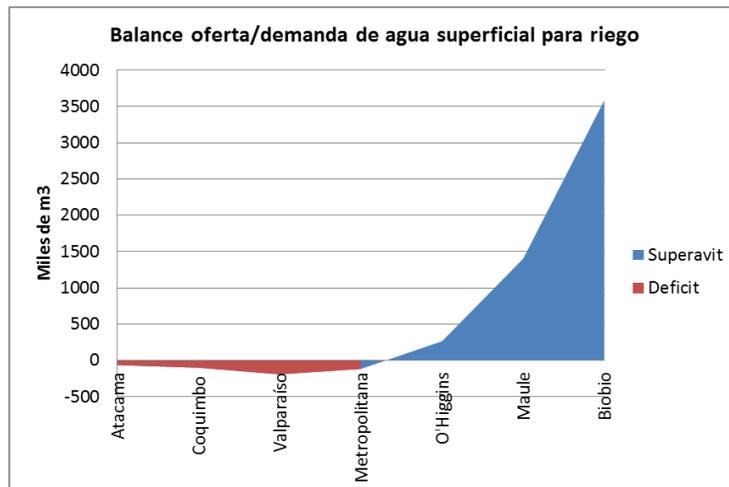


Figura 6. Balance entre la demanda y la oferta de aguas superficiales para riego por región

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 presentes.

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.

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 mas 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.

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.

Los aportes del proyecto VACEA para superar la crisis del agua

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.

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.

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.

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.

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.

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.

Referencias bibliográficas

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

IPCC 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.º 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.