

Adaptación a los impactos del cambio climático en la agricultura de riego en Chile central

INVESTIGADORES

GUILLERMO DONOSO

Académico de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal y
Centro Interdisciplinario de Cambio Global UC

JUAN PABLO MONTERO

Académico del Instituto de Economía UC

FRANCISCO MEZA

Académico de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal y
Centro Interdisciplinario de Cambio Global UC

SEBASTIÁN VICUÑA

Académico del Centro Interdisciplinario de Cambio Global UC

Resumen

De acuerdo al último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007) el cambio climático está ocurriendo y el efecto que el hombre tiene sobre este proceso es indesmentible. El impacto real que éste conlleva es muy difícil de cuantificar debido a la gran incertidumbre y alto número de variables que influyen en su desarrollo. Sin embargo, para Chile las proyecciones indican una baja en las precipitaciones, así como un aumento en la temperatura, ambos factores muy importantes en el desempeño agrícola del país. Estas razones parecen suficientes para comenzar el planteamiento de una política pública en torno a la adaptación de los impactos del cambio climático hoy, de manera especial en el sector agrícola.

Se propone incluir el concepto de incertidumbre del cambio climático en las políticas de evaluación de la agricultura de riego del país. En este sentido, el presente documento incorpora la integración del análisis de incertidumbre de las condiciones climatológicas futuras como parte de las medidas de adaptación al cambio climático impartidas por el gobierno. De esta forma, se sugiere lograr un reenfoque de las herramientas o políticas de riego que se imparten actualmente.

Para ello, la propuesta plantea el desarrollo de herramientas basadas en el análisis de sensibilidad climática con un horizonte de 30 años, escenario en donde la incertidumbre es más manejable que en proyecciones futuras con horizontes de 70-100 años. Por medio del uso de estos instrumentos a mediano plazo, estipulado para cada cuenca del Chile central, se podrá cuantificar el impacto de cada proyecto de riego y de proyectos de obras mayores que buscan aumentar la disponibilidad de agua para riego, considerando explícitamente la incertidumbre del cambio climático. Así se espera lograr una adaptación más realista a los impactos del cambio climático en este sector, a través del establecimiento de protocolos de evaluación que incluyan este análisis por parte de las instituciones asociadas al fomento del riego en Chile, que evalúan políticas y proyectos hídricos.

Dentro del informe se identifican dos instituciones donde la propuesta metodológica pudiese tener mayor provecho, por su rol de organismos ligados a labores de desarrollo y fomento de riego, especialmente en obras de gran envergadura. Estos son la Comisión Nacional de Riego (CNR) y la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH). A modo de ejemplo, se evalúa el impacto que pudiese tener la herramienta de análisis de sensibilidad, usando los resultados del método a través de un modelo hidrológico y de recursos hídricos en la cuenca del Río Limarí, en la Región de Coquimbo. En este caso se describe cómo puede ser incorporado este método dentro de los protocolos de evaluación de proyectos, con lo cual se deja enmarcado los beneficios que proveería la implementación de esta propuesta.

Antecedentes

Los impactos del Cambio Climático presentan una serie de nuevos desafíos sobre el manejo de los sistemas agrícolas y los recursos hídricos. Por ello, la búsqueda de estrategias para adaptarse a dichos impactos representa uno de los principales desafíos que enfrentan los tomadores de decisiones a nivel mundial.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007), señala la existencia de diversos intentos por cuantificar monetariamente los beneficios y costos vinculados a los impactos del cambio climático, a escala nacional, regional y global. Sin embargo, el mismo grupo resalta que algunos de estos estudios no consideran el efecto de la variabilidad climática y de los extremos climáticos. Al omitir estos elementos, se tiende a subestimar las pérdidas y sobreestimar las ganancias económicas.

En el sector de recursos hídricos, investigaciones como la desarrollada por Barnett et al. (2001) muestra que el cambio climático afectará a los diversos sistemas de agua. Utilizando un modelo climático, estiman que la demanda

de agua no se logrará satisfacer en un futuro escenario de cambio climático. Por su parte, Fisher y Rubio (1997), por medio del desarrollo de un modelo teórico, estudiaron diversos mecanismos para permitir que las inversiones en los embalses de agua se puedan proteger contra los efectos del cambio climático. A pesar de estas investigaciones, las consideraciones científicas generalmente no se toman en cuenta en la gestión hídrica. En consecuencia, la planificación de los niveles de inversión en los diversos proyectos del sector, no toma en cuenta la incertidumbre asociada al cambio climático. Una adecuada planificación de las inversiones debe basarse en posibles escenarios y efectos en los diversos sistemas hidrológicos (Arnell et al. 1996).

La presente propuesta busca reconocer explícitamente la incertidumbre que conlleva el cambio climático e integrarla dentro de los programas de riego en Chile para así lograr una mejor adaptación frente a él. Para ello, primero es necesario indagar cuáles serían los reales impactos del fenómeno en el país, y a la vez, obtener un panorama de cómo está siendo abordado dentro de las políticas e instrumentos nacionales.

1. Análisis de la situación actual

A continuación se describe la investigación que se llevó a cabo en torno a las condiciones actuales del panorama nacional. Ésta se divide en dos partes, la primera es una descripción de las características climáticas nacionales, así como de las futuras proyecciones de variación, fruto de la cual se obtuvo un panorama global de posibles escenarios climáticos en Chile. Luego, se presenta un análisis enfocado a los programas y herramientas que se imparten actualmente, a nivel nacional e internacional, en torno a la adaptación al cambio climático en temas de riego. Este segundo análisis se realizó con el fin de conocer las estrategias que se están impartiendo y saber si se está abordando el tema de la incertidumbre del cambio climático dentro de las políticas actuales.

1.1 Análisis de las características nacionales actuales y proyecciones futuras

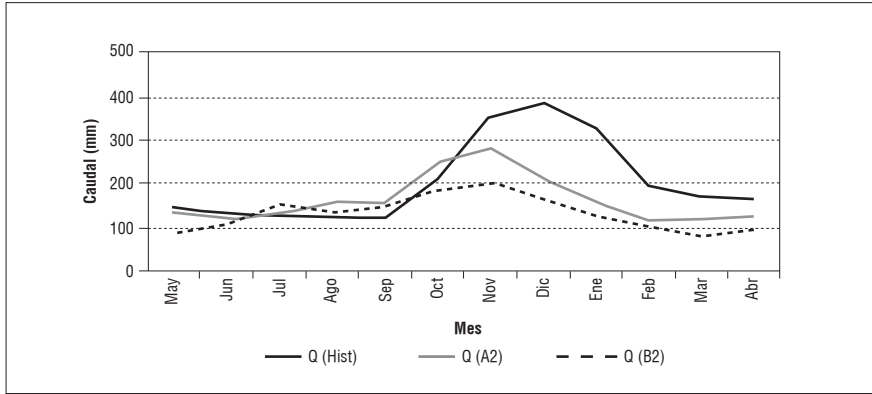
Chile central ofrece condiciones climatológicas y topográficas que son ideales para el desarrollo de una agricultura de gran calidad. En esta región domina un clima mediterráneo de marcada oscilación térmica y fuerte estacionalidad de las precipitaciones que, al separar claramente las estaciones del año, permite la adaptación de una gran diversidad de cultivos. Además, las lluvias que llegan en el invierno y quedan acumuladas como parte del manto nival en la Cordillera de Los Andes, conforman una gran reserva de agua, la cual nutre los ríos durante los meses de primavera y verano, permitiendo el abastecimiento de agua para riego en los meses de mayor demanda.

Sin embargo, esta mezcla de condiciones ideales para el desarrollo de la agricultura de riego está en peligro, de acuerdo a las proyecciones futuras

que se tienen para el clima en el Chile central. Por una parte, las proyecciones indican que habría un aumento de la temperatura mientras que, por otro lado, se pronostica con un alto grado de consistencia, una disminución importante de la precipitación. La combinación de estos dos efectos podría alterar de manera significativa la disponibilidad de agua para riego, puesto que la baja en las precipitaciones disminuiría la disponibilidad de agua en los ríos, y el aumento de temperatura podría reducir la cantidad de agua que queda almacenada en la cordillera. En este escenario se especula que existirían, de manera relativa, más eventos de precipitación en forma de agua que de nieve a una misma altura. También se podría acelerar el proceso de derretimiento de las nieves acumuladas.

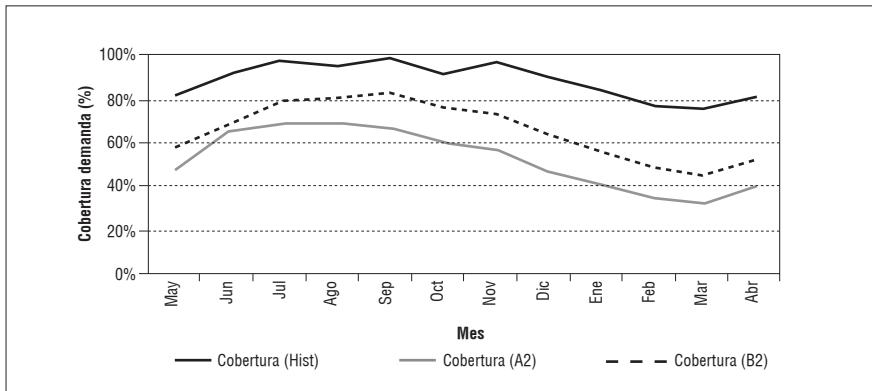
En la Figura 1 se puede ver este efecto, tomando como ejemplo la cuenca del Río Limarí. Aquí se muestran los caudales mensuales en la subcuenca del Río Hurtado, para tres condiciones meteorológicas: una histórica y dos futuras, bajo dos escenarios de emisión de gases de efecto invernadero diferentes. Estos resultados son tomados del trabajo de Vicuña et al. (2009). El escenario de simulación es para el periodo futuro 2070-2100. Asociado a esta condición hidrológica, resulta complejo poder satisfacer las necesidades de riego para agricultores ubicados en esta subcuenca. En la Figura 2 se muestra el promedio de cobertura mensual de la demanda de riego bajo condiciones históricas y bajo estos panoramas futuros. Se puede apreciar que la cobertura de demanda bajo estas nuevas condiciones hidrológicas cae ostensiblemente, especialmente en los últimos meses de verano y comienzos del otoño. Parte de esta baja en la cobertura se debe a los cambios hidrológicos recién mencionados, además de un alza en la demanda de agua producto del aumento en las temperaturas. Los resultados no incluyen ninguna modificación con respecto a las actividades agrícolas en la zona, es decir, no se variaron las superficies cultivadas, el tipo de infraestructura, ni los patrones de cultivos. Es de esperar que cambios en algunas de estas variables mejoren la cobertura de demanda para la región. Esos cambios corresponden a la adaptación que se puede lograr frente a los impactos del cambio climático. Es aquí donde radica la importancia de este proyecto: en la elaboración de una propuesta de política pública para lograr una adecuada adaptación a los impactos del cambio climático, incorporándola en la formulación de políticas de riego en Chile central.

FIGURA 1 | **Cambios hidrológicos asociados a dos escenarios de cambio climático en la cabecera de la subcuenca del Río Hurtado en la cuenca del Río Limarí. Los resultados están expresados en lámina de agua en mm.**



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 2 | **Cambios en la cobertura de demanda bajo dos escenarios de cambio climático para riego en la zona sobre embalses de la subcuenca del Río Hurtado en la cuenca del Río Limarí**



Fuente: Elaboración propia.

1.2 Análisis de los programas y herramientas en uso en la actualidad

El análisis de los programas y herramientas que se imparten actualmente en torno a la adaptación al cambio climático en temas de riego, será abordado desde dos ámbitos. Primero se realiza una investigación de los programas a nivel nacional, y luego, en una segunda instancia, el análisis de herramientas a nivel internacional que se hayan desarrollado en países de características similares al nuestro, de manera que puedan tener un alto nivel de replicabilidad en Chile.

Análisis de programas a nivel nacional

Frente a la perspectiva de este nuevo fenómeno de cambio climático, la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), presentó su Plan de Acción Nacional (2009), el cual está concentrado, en parte, en generar una línea base de información sobre escenarios de impacto y opciones de adaptación en sectores considerados claves en el quehacer nacional. En relación a los recursos hídricos, el Plan de Acción les otorga máxima prioridad, debiendo realizarse una evaluación de los impactos que el cambio climático tiene sobre ellos y de las actividades económicas asociadas, para así determinar las medidas de adaptación necesarias, lo que aún está en desarrollo.

En el marco de este plan, el 2008 se constituyó el Consejo del Cambio Climático y Agricultura, el cual responde a la necesidad de preocuparse por un proceso de adaptación del sector silvoagropecuario a los efectos del cambio climático. En este sentido, una de las principales funciones de este organismo es delinear los aspectos y prioridades al momento de definir un programa de adaptación al cambio climático en el sector silvoagropecuario. Asimismo, el organismo pretende trabajar en la línea de la investigación sobre la vulnerabilidad de los diferentes cultivos a las condiciones del clima y al déficit hídrico, además de la introducción de especies y variedades resistentes a la sequía (MINAGRI, 2008).

De manera paralela a esta agrupación, es importante mencionar que hay otras instituciones a nivel nacional y regional que ya presentan programas o herramientas públicas asociadas al desarrollo y fomento de obras de riego en el país. Dentro de éstas se pueden mencionar a la Comisión Nacional de Riego (CNR), Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), CONAMA (con proyectos como el Fondo de Protección Ambiental), Superintendencia de Valores y Seguros (SVS), Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), Fundación para la Innovación Agraria (FIA), Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA), Servicio Agrícola Ganadero (SAG), Banco Estado, Dirección General de Aguas (DGA), Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) e Instituto de Desarrollo Agropecuario (FOSIS)¹. Luego de una revisión de los programas y herramientas que estas instituciones ofrecen, específicamente aquellos que tienen relación con una posible adaptación al cambio climático, se llegó a la conclusión que en las políticas de gobierno existen instrumentos que transmiten adecuadamente sus objetivos. No obstante, pese a que se denominan como instrumentos asociados al fomento y protección al riego, éstos no están adecuadamente diseñados para introducir las nuevas complejidades asociadas al cambio climático. Más específicamente, no incorporan el análisis

1. En el glosario al final del documento se puede encontrar información general de las instituciones mencionadas.

de incertidumbre de las condiciones climatológicas en las evaluaciones de impacto y de los proyectos de adaptación en el periodo de horizonte cercano. Se estima que el análisis de incertidumbre debe ser considerado en una parte importante de los instrumentos y políticas de riego que han sido identificados en este estudio.

Análisis a escala internacional

Chile no es el único país que ha planteado lineamientos en torno a estrategias de adaptación al cambio climático. Otros países, con niveles de desarrollo superior y características climáticas similares, como Australia, Estados Unidos y España, ya han comenzado a trabajar en planes y programas con esta orientación.

Para el caso de Australia, el desarrollo en torno a políticas de preparación para las variaciones climáticas globales, comenzó con el proyecto llamado Iniciativa Nacional de Aguas (Consejo de Gobiernos Australianos, 2004), para luego estructurar un Plan de Acción para la Agricultura Nacional y el Cambio Climático (Australian Government, 2006). Finalmente, el año 2008 se establecen los lineamientos del plan de acción llamado “Agua para el mañana” (Australian Government, 2008), con el objetivo de asegurar reservas de agua a largo plazo. El conjunto de estos programas proyecta una mayor preocupación por impartir una “sabiduría en el uso del agua”. Se invierte en proyectos de reserva de agua, mejorando las tecnologías de los sistemas de regadío, además de otorgar ayuda para reducir las pérdidas de agua, considerando apoyar a empresas que utilizan mucha cantidad de recurso para convertirlas en más eficientes.

Con respecto a las políticas desarrolladas en Estados Unidos involucradas en la elaboración de propuestas ante el cambio climático, una de las más completas es el Plan de Aguas de California (DWR, 2009), en el cual se establecen guías para un control, protección, conservación, desarrollo, manejo y uso eficiente de los recursos hídricos de una manera coordinada. Dentro de sus estrategias de acción, buscan identificar los riesgos y diferencias climáticas a nivel regional, además de promover la coordinación y colaboración entre gobiernos.

En esta misma línea, es interesante recalcar el esfuerzo de España por adaptarse al impacto climático, ya que en su Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, formulado el año 2006, se plantea el desarrollo de distintos escenarios climáticos regionales para la geografía española. En él se incluye la implementación de herramientas para evaluar los impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, realizando un proceso continuo de actividades de información y comunicación de los proyectos (Oficina Española del Cambio Climático, 2006).

Por lo tanto, considerando las políticas internacionales expuestas, resulta clave que las propuestas de políticas públicas ligadas a la adaptación al cambio climático contemplen la creación de un sistema de información con alta capacidad de actualización y difusión, o al menos, la inserción de la propuesta dentro de otros programas que ya contemplen ese nivel de transmisión. Junto con esto, se vislumbra la necesidad de entablar la coordinación entre distintas organizaciones y sus respectivos programas, así como la creación de herramientas para evaluar los impactos a nivel regional. Es así como resulta necesaria la creación de una política pública que considere estas estrategias internacionales, para poder integrar, dentro de los programas de fomento de riego actuales, la adaptación a los impactos del cambio climático.

Propuesta

Por medio de este estudio se busca definir una estrategia de adaptación a los impactos del cambio climático asociados a la agricultura de riego en el Chile central. El concepto principal detrás de esta propuesta contempla la integración del análisis de incertidumbre dentro de los protocolos y objetivos de evaluación de proyectos de riego a nivel nacional. Para lograr la adecuada incorporación de las medidas de adaptación resulta fundamental incluir este análisis de incertidumbre asociada a proyecciones de cambio climático. Esto se debe a que, para una adecuada planificación y evaluación de las inversiones por parte de las distintas instituciones y programas gubernamentales, se requiere incluir en el análisis los posibles escenarios y sus respectivos efectos en los diversos sistemas hidrológicos del país.

En este trabajo se plantea una herramienta para lograr la integración del análisis de incertidumbre de las condiciones climatológicas a las medidas de adaptación al cambio climático impartidas por el gobierno. Luego del análisis de incertidumbre sugerido, se propone lograr un reenfoque de las herramientas o políticas de riego que se imparten actualmente, esencialmente por aquellas instituciones más ligadas a labores de desarrollo y fomento de riego, como son la CNR del Ministerio de Agricultura, y DOH del Ministerio de Obras Públicas. Ambas instituciones se caracterizan por incluir como parte de sus objetivos el incrementar y mejorar la superficie regada del país.

Si se considera a la CNR, institución cuyos objetivos esenciales están ligados a la implementación de políticas de riego en el país, resulta crítico incorporar un análisis de incertidumbre dentro de la evaluación de sus proyectos, asociado a condiciones climáticas en horizontes cercanos. Este aspecto necesariamente debe ser considerado tomando en cuenta la perspectiva de las proyecciones climatológicas que se tengan en cada cuenca hidrográfica. Es posible que en algunas de estas cuencas las proyecciones futuras asociadas al nivel de uso que se tenga en la actualidad, impida tener proyectos con renta-

bilidades positivas de largo plazo que no pongan en riesgo la sustentabilidad de actividades agrícolas a futuro.

En cuanto a la DOH, la propuesta se alinea con respecto a los protocolos y criterios usados en la evaluación de proyectos de infraestructura, asociados a la provisión de seguridad en el suministro de agua para riego. La práctica actual indica que estos proyectos sean evaluados considerando las condiciones climáticas históricas, es decir, suponen que el clima es estacionario. Sin embargo, por defecto, al asumir la realidad del cambio climático, el clima es cambiante, y por lo tanto, en algunos casos lo que se conoce del pasado no es suficiente para evaluar proyectos futuros. En este sentido, se plantea que el diseño de obras de infraestructura de riego de envergadura (ej. embalses interanuales), así como la evaluación de los beneficios que conlleva, se realice tomando en cuenta de manera explícita la incertidumbre asociada a proyecciones climáticas de horizonte cercano.

Ambas instituciones responden a las metodologías de evaluación impartidas por el Ministerio de Planificación y Cooperación (MIDEPLAN). Es entonces en esta instancia, donde debiese presentarse la propuesta para su posterior implementación. En secciones posteriores se describirá una metodología específica para aplicarse, en estas instituciones, la propuesta de política pública considerada en este trabajo.

1. Impacto de la propuesta

Como ya se ha planteado, este artículo propone integrar la incertidumbre dentro de las instituciones gubernamentales como medida de adaptación al cambio climático, con el objetivo de hacer más eficiente su actuar y la selección de proyectos. Por medio del uso de protocolos y objetivos que contemplen las proyecciones de cambio climático, será posible evaluar la pertinencia de proyectos de riego en cuanto a su factibilidad con un panorama de incertidumbre. Además permitirá perfeccionar o ajustar el diseño de proyectos o herramientas de acuerdo a estas proyecciones, así como también lograr establecer prioridades entre distintos proyectos, en cuanto a los beneficios que cada uno presenta. Sin embargo, para lograrlo, es necesario primero definir el período de tiempo a considerar, junto con un modelo que pueda ser utilizado de forma genérica para la evaluación de los proyectos y propuestas.

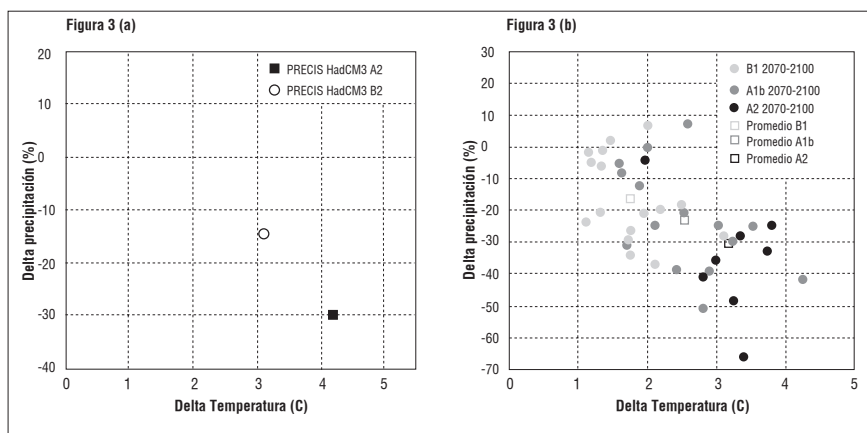
Para ello, en la siguiente sección se presenta primero un análisis de la incertidumbre asociada a las proyecciones futuras de las condiciones climáticas e hídricas para distintos escenarios y períodos de tiempo en el país. Usando este análisis de incertidumbre se describe una metodología general para generar estrategias de adaptación a los impactos del cambio climático en la agricultura de riego en Chile central. Esta metodología general es aplicada de manera específica, a modo de ejemplo, para ser implementada por

dos instituciones reconocidas como recipientes claves de las propuestas acá formuladas: la CNR y la DOH.

1.1 Análisis de la incertidumbre

Con el fin de ejemplificar un análisis de incertidumbre de escenarios futuros proyectados de cambio climático se han utilizado los resultados obtenidos a través de un modelo hidrológico y de recursos hídricos desarrollado para la cuenca del Río Limarí (Vicuña et al., en revisión). Con respecto a los escenarios futuros esperados en esta cuenca se puede apreciar en la Figura 3(a) que los cambios de precipitación y temperatura asociados a estos escenarios implican, para finales de siglo, un aumento de 4.2 y 3.1 °C para los escenarios de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) A2 y B2 respectivamente, además de 30 y 15 % de reducción de precipitaciones ante los mismos escenarios. El escenario A2 corresponde a un escenario de alto nivel de emisiones de GEI mientras que el escenario B2 corresponde a un escenario moderado de emisiones. Estas proyecciones climáticas se obtienen de los resultados de la simulación llevada a cabo con un modelo de clima global desarrollado por la oficina meteorológica de Gran Bretaña (modelo HadCM3).

FIGURA 3 | Escenario de cambio climático en cuenca del Limarí asociado a un modelo HadCM3 (a) y a diferentes modelos de cambio global y escenarios de emisión de GEI (b) para el periodo 2070-2100



Fuente: Elaboración propia.

Es importante tener en cuenta que estos escenarios corresponden solamente a dos de un número alto de posibles escenarios futuros. En el último informe del IPCC se reconocieron 21 modelos de clima global operando bajo el alero de distintas instituciones a nivel mundial. A su vez, cada uno de estos modelos considera distintos escenarios de emisión de GEI, al proyectar las

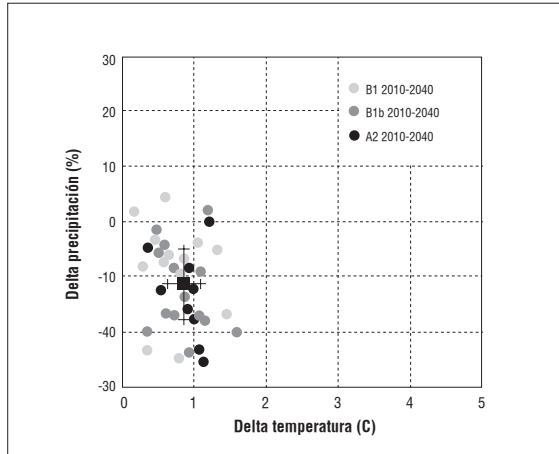
condiciones climatológicas en el futuro. Estos escenarios están acoplados a diferentes trayectorias que puede tomar el desarrollo del planeta en cuanto a ciertas variables claves tales como la población, el desarrollo económico, el nivel de integración de los países y el desarrollo tecnológico.

Como se mencionara anteriormente, A2 corresponde a un escenario con alto nivel de emisiones de GEI versus el B2 de bajo nivel de emisiones. También existen escenarios intermedios como el A1b. Uno se ve entonces enfrentado a un alto número de posibles escenarios futuros de cambio climático y cada uno de estos va a implicar un diferente nivel de impacto. En la Figura 3 (b) se muestran un conjunto de escenarios disponibles para el periodo 2070-2100. Se puede apreciar en esta figura el alto nivel de dispersión existente entre ellos, lo cual se da, en parte, debido a las diferencias entre los distintos escenarios de emisión de GEI. Se observa, en este caso, que el cambio de temperatura proyectado para el escenario A2 es claramente superior al proyectado para el A1b o el B1. Sin embargo, dentro de un mismo escenario de emisiones, existe una gran dispersión de resultados producto de las distintas proyecciones de los modelos de cambio global. Este alto nivel de dispersión impide la incorporación de medidas de adaptación que sean robustas, ya que los resultados que pueden ser positivos en un caso, pueden ser adversos en otros.

Cuando se considera un futuro más cercano, en cambio, el nivel de incertidumbre se reduce significativamente. La Figura 4 presenta las proyecciones para los mismos escenarios pero para el periodo 2010-2040 (es decir, los próximos 30 años), donde se puede ver que las diferencias entre escenarios de GEI son menos notorias (los promedios para cada uno son prácticamente iguales entre sí) con respecto a las proyecciones de largo plazo. Además, la dispersión entre modelos de cambio global es bastante menor. Se incluye también un intervalo de confianza del 50% con respecto al promedio en proyecciones de precipitación y temperatura. Este intervalo de confianza muestra el rango probable (en este caso un 50% de probabilidad) de condiciones futuras en esta cuenca.

El nivel de incertidumbre que se presenta a mediano plazo es más manejable para el diseño de medidas de adaptación y contempla escenarios temporales más cercanos que se traslapan con los escenarios de toma de decisiones de diversas políticas e instrumentos relativos al riego en el país. Es por lo mismo, que se plantea la incorporación del análisis de incertidumbre en un horizonte cercano, calculado a 30 años. A la vez, este análisis de incertidumbre a menor plazo debe considerarse al implementar una variación dentro de los instrumentos y políticas de riego adoptando un enfoque que profundice en el área de adaptación al cambio climático.

FIGURA 4 | Escenarios de cambio climático en cuenca del Limarí asociado a diferentes modelos de cambio global y escenarios de emisión de GEI para el periodo 2010-2040. Se incluye un intervalo de confianza del 50% con respecto al promedio en proyecciones de precipitación y temperatura



Fuente: Elaboración propia.

De este modo, se aprecia que la incorporación de la incertidumbre acotada en un período de mediano plazo tendría un fuerte impacto en el país, específicamente en materia de un aumento del alcance y cobertura de los programas. Los instrumentos nacionales podrían ajustar sus intereses a los sectores más vulnerables, conociendo con un grado de incertidumbre más acotado las proyecciones hídricas y térmicas de zonas específicas. Con ello se establecería una relación directa con los usuarios más afectados o que requieren de mayores beneficios.

1.2 Modelo de análisis de incertidumbre

Como se ha concluido en la sección anterior, la inclusión del análisis de incertidumbre de las condiciones climatológicas para periodos futuros con un horizonte cercano (2010-2040), puede acotar los niveles de incertidumbre y posibilitar la orientación de las políticas públicas asociadas al riego hacia una adaptación concreta al cambio climático. No obstante, existen diversas maneras para integrar el análisis de incertidumbre dentro de las políticas públicas para riego, diferenciándose en el nivel de precisión y costos que cada una implica.

Uno de los métodos más precisos corresponde a la realización de un “*downscaling*”² a nivel regional de diferentes escenarios climatológicos y utilizarlos en modelos hidrológicos. De esta forma se obtienen los resultados

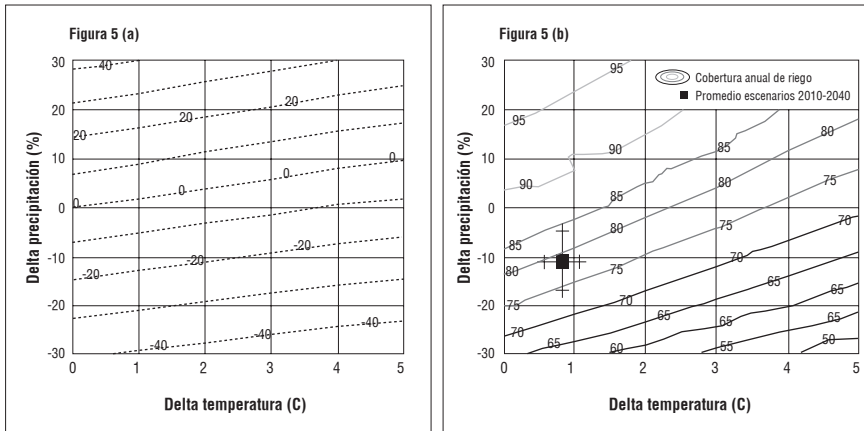
2. Reducción de escala

asociados a una política de riego en particular. Así, se puede comparar dos alternativas de riego diferentes, y obtener el valor económico de cada medida. Sin embargo, este proceso es costoso, ya que requiere contar primero con esos escenarios a una escala que permita ser utilizados por modelos hidrológicos.

De manera alternativa se puede realizar una metodología de “sensibilidad”. Esta metodología se basa en una perturbación gradual de las variables climáticas más relevantes, en este caso, temperatura y precipitación. Se crean de este modo un alto número de escenarios que corresponde al conjunto de perturbaciones de ambas variables. Debido a su bajo costo de implementación esta metodología ha sido la alternativa considerada en esta oportunidad. Se presenta a continuación una propuesta de cómo se podría incorporar para el caso del análisis de diferentes medidas e instrumentos asociados al fomento de riego en el futuro cercano en la cuenca del Río Limarí.

El análisis de sensibilidad comienza con la creación de los diferentes escenarios climatológicos de perturbación, como se aprecia en la Figura 5 (a). Esta figura se preparó llevando a cabo un alto número de simulaciones hidrológicas de la subcuenca del Río Hurtado. Estas simulaciones se elaboraron con distintos escenarios de cambio de temperatura (11 escenarios cada uno asumiendo un aumento paulatino de 0.5 °C) y de cambio de precipitación (25 escenarios de los cuales 12 corresponden a disminuciones paulatinas de 2.5% en precipitación, 12 a aumentos de precipitación correspondientes y un escenario sin cambio). Esto último generó un total de 275 escenarios con condiciones climatológicas perturbadas (se perturba el periodo histórico 1984-2004) que fueron usados en el modelo hidrológico. Cada uno de estos escenarios genera una nueva condición hidrológica. Las líneas en la figura muestran líneas con el mismo cambio en caudales con respecto a la situación base (en términos porcentuales). Si se sigue la línea de cambios, por ejemplo, se puede apreciar que existe una pérdida de caudal asociada a un aumento de temperatura que debe ser compensado con un aumento de precipitaciones. Esta es la razón de que la línea esté levemente inclinada hacia arriba. De esta manera, se puede resumir en una sola figura los cambios potenciales que ocurrirían frente a un cambio climatológico.

FIGURAS 5(a)-5(b) | **Cambios porcentuales en caudal (a) y cobertura de demanda de riego (b) en la subcuenca del Río Hurtado asociados a análisis de sensibilidad climática. Se incluye en (b) de manera adicional un intervalo de confianza del 50% con respecto a las proyecciones de precipitación y temperatura para el periodo 2010-2040**



Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente se puede revisar, a partir de los mismos escenarios, cuál es el impacto que tiene cada uno de estos escenarios climatológicos en la cobertura de demanda de riego para los agricultores de la región aguas arriba del Embalse Recoleta en la subcuenca del Río Hurtado. La Figura 5 (b) muestra esta situación incluyendo, además, los distintos escenarios de proyección de cambio climático. Usando esta figura se puede estimar que con una alta probabilidad (la gran mayoría de los escenarios lo indican) existiría en esta cuenca una disminución en la cobertura anual de demanda de riego. La situación base indica una cobertura del orden de 88% pero los escenarios futuros indicarían (con una probabilidad de ocurrencia de un 50%) una cobertura entre 73 y 83%.

Este tipo de análisis se puede utilizar en el diseño de políticas públicas asociadas al riego tal como se describirá a continuación.

2. Impacto en programas

El análisis de sensibilidad descrito puede utilizarse para evaluar los beneficios de distintos proyectos contemplados por las instituciones relacionados a temas de riego a lo largo del país. Para ello, se modelará la propuesta diseñando dos situaciones ficticias en las que la incorporación de la incertidumbre resulta necesaria dentro de los parámetros de evaluación de obras de riego. En él se consideran las dos instituciones utilizadas como ejemplo dentro de la propuesta, es decir, la CNR y la DOH.

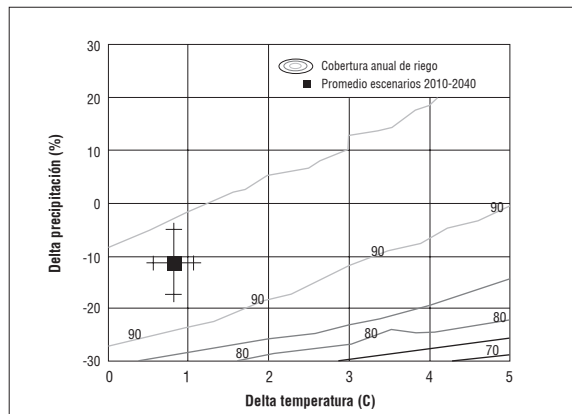
En relación a las actividades llevadas a cabo por estas instituciones, se sugiere la implementación de este tipo de análisis para la evaluación de políticas

de aumento de superficie bajo riego. Este tipo de análisis se ha considerado beneficioso para estas dos entidades, ya que uno de los objetivos de ellas es asegurar el incremento de la superficie regada en el país, el cual, necesariamente, debe considerar la perspectiva de las proyecciones climatológicas que se tengan en cada cuenca hidrográfica.

A modo de ejemplo y para lograr una comprensión más detallada, se presentan a continuación los potenciales resultados de una “política de aumento de la superficie regada” en las zonas bajas de la cuenca del Río Limarí (aguas debajo de los embalses de regulación).

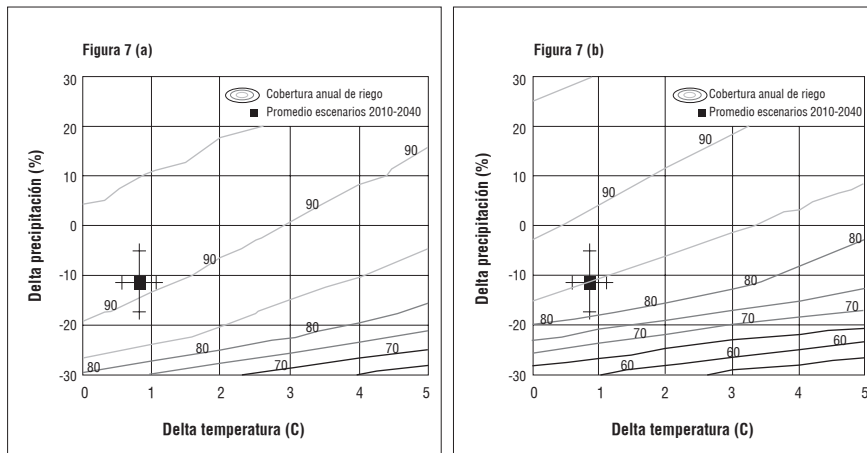
La Figura 6 muestra la cobertura anual de riego con fuentes de agua superficial para los regantes asociados al canal Villalón, quienes se abastecen de agua provenientes del Embalse Recoleta y el Embalse Paloma. Se puede apreciar en esta figura que, a diferencia de lo que se ha presentado para el caso de los regantes en el Río Hurtado, el nivel de vulnerabilidad de estos usuarios es bastante menor. Se aprecia que de acuerdo a la condición actual y a las proyecciones futuras, estos regantes pasarían de una cobertura superior al 95% a una cobertura (con un 50% de probabilidad de ocurrencia) entre un 92 y un 95%. Ahora bien, si se aumentara la superficie regada para los regantes en la parte baja de la cuenca, la situación cambia. Si la superficie regada aumentara en un 10% (ver Figura 7 (a)), la cobertura futura disminuye ahora al rango 88-93% y si aumentara un 20% (ver Figura 7 (b)) la cobertura disminuiría aún más a valores ya bajo una cobertura de 85%. Esta cifra se considera como el mínimo deseado en proyectos de infraestructura de riego.

FIGURA 6 | Cambios en la cobertura de riego anual en zona de riego asociado al Canal Villalón en la parte baja de la cuenca Río Limarí asociado a análisis de sensibilidad climática. Se incluye un intervalo de confianza del 50% con respecto a las proyecciones de precipitación y temperatura para el periodo 2010-2040



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 7 | Cambios en la cobertura de riego anual en zona de riego asociado al canal Villalón en la parte baja de la cuenca del río Limarí, asociado a análisis de sensibilidad climática con un aumento del 10% (a) y de un 20% (b) en la superficie regada. Se incluye un intervalo de confianza del 50% con respecto a las proyecciones de precipitación y temperatura para el período 2010-2040



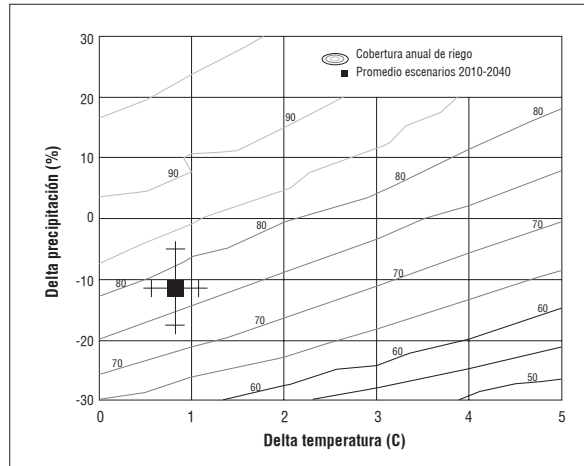
Fuente: Elaboración propia.

Incorporando este tipo de análisis en la toma de decisiones y diseño de políticas de la CNR y DOH sería posible establecer prioridades con respecto al incentivo de inversión en obras de riego reconociendo las vulnerabilidades relativas, tanto actuales como futuras para diferentes regiones del país.

De manera específica a las actividades llevadas a cabo por la DOH, se sugiere que el diseño de obras de infraestructura de riego de envergadura (ej. embalses interanuales), así como la evaluación de beneficios asociados, se realice tomando en cuenta de manera explícita la incertidumbre asociada a proyecciones climáticas de horizonte cercano. Es por ello que, con el fin de lograr identificar los beneficios que podría aportar la integración de las proyecciones de variabilidad climática a un mediano plazo dentro de sus parámetros de evaluación, se supondrá la construcción de un embalse ubicado aguas arriba de la zona de riego, en la subcuenca del Río Hurtado.

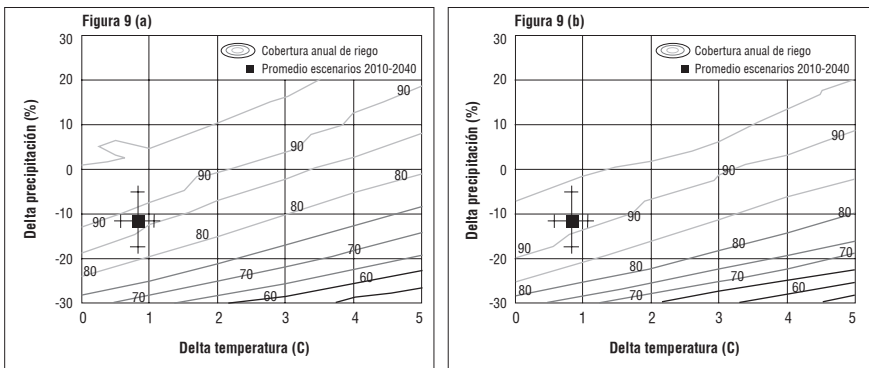
Para ejemplificar la utilización de la metodología propuesta para efectos de esta iniciativa en particular, se presenta en las Figura 8, 9 (a) y 9 (b) la cobertura anual de agua para riego, para regantes en el Río Hurtado (aguas arriba de embalses) bajo tres escenarios diferentes: situación actual sin embalse (esta figura equivale a la Figura 3 (b) que ya fuera presentada con anterioridad); panorama con la construcción de un embalse de 50 millones de m^3 ; situación con la construcción de un embalse de 100 millones de m^3 .

FIGURA 8 | Cambios en la cobertura de riego anual en zona de riego en la subcuenca del Río Hurtado asociado a análisis de sensibilidad climática. Se incluye un intervalo de confianza del 50% con respecto a las proyecciones de precipitación y temperatura para el periodo 2010-2040.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 9 | Cambios en la cobertura de riego anual en zona de riego en la subcuenca del Río Hurtado asociado a análisis de sensibilidad climática, con la construcción de un embalse de 50 millones de m³ (a) y de 100 millones de m³ (b). Se incluye un intervalo de confianza del 50% con respecto a las proyecciones de precipitación y temperatura para el periodo 2010-2040.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar de las figuras presentadas que la construcción del embalse mejora las condiciones de cobertura de riego para estos regantes. Para la situación base se proyecta (con un 50% de probabilidad de ocurrencia) un rango de coberturas entre 73 y 83%. La construcción de un embalse de 50 millones de m³ de capacidad aumenta esta cobertura al rango 82-92%. Por

último, la construcción de un embalse de 100 millones de m³ de capacidad aumenta aún más el rango a 87-94%. Si se prosiguiera con el análisis de este proyecto en particular, se debería evaluar posteriormente los beneficios económicos asociados a estas obras, considerando además los costos económicos, sociales y ambientales. Con esta información se podría tomar la decisión con respecto a si es beneficioso construir un embalse en esta región y cuál es la capacidad de almacenaje óptimo. Todo esto se haría considerando de manera explícita la incertidumbre asociada a escenarios climatológicos en un horizonte cercano.

Es importante resaltar que el análisis presentado tiene que ser considerado como un elemento más de evaluación de la pertinencia del proyecto y no la herramienta completa. Este instrumento debería ser incorporado dentro de la evaluación técnica, sumándolo a la evaluación ambiental, económica y social, para que brinde mayores parámetros de evaluación. Estos, en conjunto, podrán determinar cuál política de riego satisface de manera más robusta todas las exigencias y posibilidades del lugar.

3. Alcance de la propuesta

La propuesta de implementación tiene un amplio alcance dentro de los programas nacionales, ya que puede ser integrada dentro de los protocolos y objetivos de evaluación de un número importante de proyectos de riego que están supeditados a las condiciones hidrológicas de una zona determinada. Es por ello, que la propuesta puede incluirse ya sea como un complemento o como una herramienta sustituta dentro de la planificación de diversos programas que involucren recursos hídricos, con el fin de guiar las correspondientes acciones que se deben tomar en cada situación.

Es importante en esta sección mencionar nuevamente el Plan Nacional de Acción sobre Cambio Climático (CONAMA, 2008), el cual constituye el marco de referencia para las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. Como la institución misma recalca dentro del plan, la elaboración de estrategias de adaptación se ve complicada por el factor de incertidumbre, ya que aún no es posible cuantificar con precisión los probables efectos futuros sobre un sistema particular, en un lugar determinado. Es así como se aprecia que la propuesta de adaptación al cambio climático, integrando el tema de la incertidumbre, puede tener coherencia también con las necesidades planteadas en el plan mencionado. Incluso, por medio de la integración de estos parámetros se podría identificar las zonas de mayor vulnerabilidad o aquellas que requieran cierta prioridad dentro del país, lo cual es otro de los objetivos buscados por el plan.

Junto con ello, es importante resaltar también las funciones del Consejo de Cambio Climático Agrícola, organismo que tiene como propósito principal

ser una herramienta que permita la mejor evaluación de los proyectos de adaptación al cambio climático. Adicionalmente debe asesorar al Ministerio de Agricultura en la elaboración de una respuesta ante los efectos del calentamiento global. Es en este aspecto donde la propuesta pudiese ser utilizada, para así integrar parámetros de evaluación que incluyan la incertidumbre en diversos proyectos de adaptación presentados.

4. Factibilidad de la propuesta

La propuesta plantea, como ya se ha mencionado, la incorporación del análisis de incertidumbre de las condiciones climatológicas futuras a las medidas de adaptación al cambio climático impartidas por el gobierno. En forma más amplia, se plantea su implementación a la evaluación futura de proyectos y programas asociados al fomento del riego en el Chile central. De esta forma, por medio de la estructuración y análisis de la incertidumbre, acotada en un período de 30 años, se pretende lograr un reenfoque de las herramientas o políticas de riego que se imparten actualmente. Ahora bien, para lograrlo se requiere de un modelo hidrológico que permita dimensionar impactos de obras de riego y evaluar efectos del cambio climático, con un ajuste permanente, con un alto nivel de eficiencia y que, a la vez, no resulte excesivamente costoso. Para ello, este plan de acción postula un modelo que se acomoda a programas ya contemplados dentro de la agenda gubernamental, y que, al mismo tiempo, integran un sistema de actualización de información. De esta forma, el planteamiento tiene altos índices de factibilidad en zonas donde existan los datos pertinentes, tal como información relativa al clima, hidrología, suelos, cobertura de cultivos, redes y canales, entre otros.

Sin embargo, este trabajo requiere herramientas básicas de análisis que, pese a no ser materia de este proyecto, es importante tomar en cuenta y considerar al hacer efectiva su implementación. El caso más claro tiene relación con la correcta implementación de análisis de incertidumbre. Para ello es necesario que exista un desarrollo previo de modelos de recursos hídricos a nivel de subcuencas. Por medio de estos modelos se podrán establecer relaciones más claras entre el clima y la disponibilidad de agua existente, para ser usada en riego y otros usos. Considerando la existencia de las herramientas básicas para establecer esta relación, existen diversas maneras para lograr la inclusión del análisis de incertidumbre en la orientación de políticas públicas para riego.

Para este informe, enfocado en la cuenca del Río Limarí, de la Región de Coquimbo, se realizó el análisis de sensibilidad de cada propuesta utilizando el modelo hidrológico desarrollado en Vicuña *et al.* (2009). Este modelo, específico para el sector investigado, utiliza datos de las estaciones meteorológicas de la región, que se caracteriza por ser uno de los sectores con mejor cobertura de estaciones de monitoreo dentro del país. No obstante, la replica-

bilidad de este ejercicio en otras cuencas requiere de otros modelos, además de información hídrica y climática para su construcción, que actualmente puede no estar disponible para todas las cuencas.

Ahora bien, estas herramientas y modelos hidrológicos de cuencas necesarios para la implementación de la propuesta ya están siendo considerados dentro de la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas, creada el año 2006 por la CONAMA. Esto en respuesta a la necesidad de proteger el recurso hídrico y supervisar la conservación de los ecosistemas por medio del aprovechamiento sustentable del recurso. Para ello, postulan el Plan de Gestión de Cuencas, que mejoraría la base de información para cada cuenca, permitiendo un proceso de toma de decisiones más certero. Es así como se concluye que, si esta propuesta resulta factible para un determinado sector, el Plan de Gestión debiese también incluir el análisis de sensibilidad por cuenca dentro de la implementación a nivel nacional. Por ello, al momento en que la aplicación de la propuesta sugerida cobre total validez y factibilidad para una cuenca determinada, se posibilitará la creación de parámetros a nivel nacional, que consideren los impactos del cambio climático dentro de un horizonte futuro cercano.

4.1 Factibilidad económica de la propuesta

Este estudio contempla el uso de la herramienta de análisis de sensibilidad para introducir el concepto de incertidumbre climática en las políticas nacionales actuales, utilizando un modelo ya establecido. Por medio del uso de este análisis para medir la eficiencia de las distintas propuestas de riego es posible lograr resultados con una precisión similar a la obtenida con métodos más sofisticados, tales como el *downscaling* dinámico, pero utilizando menores recursos.

Es importante considerar, como fuera indicado con anterioridad, que la correcta implementación de este planteamiento requiere la utilización de modelos hidrológicos y de recursos hídricos para cada cuenca de análisis. El correcto desarrollo de estos modelos es, en algunos casos, costoso, lo que puede poner en riesgo la factibilidad económica de la propuesta en otras localidades. En este sentido, es crítico fomentar el desarrollo de estos modelos, además de crear mejores sistemas de información y monitoreo, proceso cuya implementación ya comenzó en diferentes sectores de Chile, a través de la Estrategia Nacional de Cuencas.

4.2 Factibilidad legal de la propuesta

Como ya se ha hecho notar, actualmente existe una institucionalidad que permite, pero que aún no incluye, la adaptación al cambio climático en temas de riego en Chile. Resultaría evidente integrar este concepto dentro de los programas de fomento actuales, aprovechando que la institucionalidad lo permite.

A la vez, dentro del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático se plantea como herramienta clave de acción, la regulación de los problemas de riego por medio de las distintas leyes que actualmente están vigentes. Es más, dentro de sus objetivos, la ejecución de proyectos de tecnificación y la focalización en reparación de canales por medio de los concursos de la Ley de Fomento al Riego y Drenaje, son fundamentales. Es así como las bases gubernamentales permitirían implementar la adaptación dentro de los concursos públicos, fomentando la adaptación al cambio climático en temas de riego.

Por otra parte, el Consejo de Ministros de la Comisión Nacional de Riego, a través de la Mesa de Coordinación Interinstitucional, integrada por las distintas instituciones públicas vinculadas al riego, se propuso dar cuenta de cómo enfrentar los desafíos del subsector riego. En este ámbito, la propuesta planteada resuelve sus objetivos, ya que podría utilizarse como herramienta normativa dentro de los parámetros nacionales para la evaluación de proyectos de riego. De este modo se enfrentaría uno de los mayores desafíos de riego del momento: el fenómeno del cambio climático.

5. Estrategias de implementación de la propuesta

La estrategia de implementación se basa en el desarrollo de protocolos para la evaluación de proyectos de riego. En ellos se deben cumplir los objetivos de las instituciones gubernamentales relacionadas, contemplando el concepto de cambio climático y de su incertidumbre, basándose en un análisis de horizonte cercano. Estos protocolos podrían convertirse en normas obligatorias para cualquier evaluación de proyectos de riego a nivel nacional, dentro de los parámetros impuestos por el Ministerio de Planificación. Para que ello sea ejecutado es necesaria la aprobación de este proyecto por el Consejo de Ministros de la CNR. Del mismo modo, en una primera instancia este informe debiese ser evaluado por el Consejo de Cambio Climático y Agricultura, quienes contemplarían la pertinencia de la propuesta dentro del panorama nacional de cambio climático actual.

Las instituciones donde se sugiere la ejecución de este estudio, en forma más inmediata, son la CNR y la DOH, dada su relación con proyectos de gran envergadura en temas de riego. La primera de estas entidades, la CNR, puede contemplar instaurar la propuesta dentro de sus criterios de evaluación de políticas de riego, observando los reales efectos de ellas en la cobertura de riego para un horizonte de incertidumbre. Mientras que la segunda institución mencionada, la DOH, puede instaurar estos protocolos dentro la evaluación técnica de una obra de riego de gran tamaño, donde se incluyan el nivel de beneficiarios afectados y la superficie de riego propuesta, previo a la evaluación ambiental, financiera, social y legal, según corresponda.

Por otra parte, para la adecuada implementación de la propuesta misma, se contempla la utilización de un análisis de sensibilidad con proyecciones climáticas específicas para cada cuenca, logrando desarrollar estimaciones generales de la cobertura de demanda específicas para cada zona. El análisis de sensibilidad por cuenca, considerado dentro de la ejecución de la propuesta, se inserta dentro de las estrategias de monitoreo y evaluación del Plan de Gestión de la Cuenca. Por medio de este último, se tendrá acceso a información detallada del lugar, logrando la obtención de proyecciones de demanda hídrica precisas, de acuerdo a la variabilidad climática planteada. Estos resultados pueden utilizarse a modo genérico, dentro de las organizaciones gubernamentales relacionadas con evaluación o ejecución de obras de riego, posibilitando la comparación entre distintos proyectos y su priorización.

Consideraciones finales

Luego de realizar esta propuesta, que busca integrar protocolos y parámetros que incluyan la incertidumbre del cambio climático dentro de la evaluación de políticas y proyectos de riego, se deben mencionar ciertas consideraciones. Esta herramienta es flexible, ya que incorpora la incertidumbre y, a la vez, es rígida, porque podría ser de carácter normativo para la evaluación de proyectos a escala nacional. Es así como se logra integrar el concepto de adaptación al cambio climático dentro de la evaluación de proyectos de riego de gran envergadura en el país. De esta forma, además, se toma en cuenta la incertidumbre de los impactos del fenómeno climático y se logran proyecciones específicas para cada cuenca, lo que hace que los resultados estimados reflejen los reales impactos de un proyecto o política.

Sin embargo, es importante notar que este planteamiento comprende sólo una parte de los protocolos de evaluación de proyectos de riego, y no es la herramienta de evaluación completa. Esta idea debe complementarse con las evaluaciones técnicas y económicas de los mismos, con el fin de identificar, con un mejor grado de asertividad, el proyecto que mejor se adapte a los requerimientos y posibilidades que brinda el sector. De este modo, la propuesta incluye el tema de la adaptación al cambio climático, dentro de los sistemas de evaluación ya funcionando en el país.

Otro aspecto que merece ser resaltado es que actualmente existe una falta de modelos, información meteorológica y estaciones de monitoreo que permitan una adecuada implementación de esta metodología en muchas cuencas en Chile. No obstante, cada día hay mayores fuentes de información y se están creando sistemas y herramientas de monitoreo para este efecto. Además, estos modelos pueden ser adaptados para casos específicos de localidades con menores herramientas o sistemas de monitoreo.

Glosario

- **Cambio Climático:** Variación del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.
- **CNR, Comisión Nacional de Riego:** Institución que busca asegurar el incremento y mejoramiento de la superficie regada del país.
- **CONAMA, Comisión Nacional del Medio Ambiente:** Organismo que contribuye tanto a la prevención como a la solución de los problemas ambientales del país.
- **Consejo de Cambio Climático y Agricultura:** Encargados de estructurar una respuesta frente al cambio climático, evaluando proyectos de mitigación, así como también herramientas de adaptación.
- **CORFO, Corporación de Fomento de la Producción:** Institución que apoya a las empresas chilenas para que estén en condiciones de competir en los mercados actuales.
- **DGA, Dirección General de Aguas:** Organismo encargado de promover la gestión y administración del recurso hídrico, en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación eficiente.
- **DOH, Dirección de Obras Hidráulicas:** Institución del Ministerio de Obras Públicas (MOP), cuya función es proyectar, construir, conservar, operar y colaborar en la planificación de obras hidráulicas.
- **Downscaling:** Traducción de un pronóstico de tiempo o espacio a una resolución más fina que el pronóstico inicial.
- **Estrategia Nacional de Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas:** Instrumento que busca garantizar sustentabilidad y mejorar gestión del recurso hídrico en Chile.
- **FIA, Fundación para la Innovación Agraria:** Agencia pública que centra su quehacer en impulsar los procesos de innovación y en actuar sobre el entorno y las condiciones que lo favorecen.
- **FOSIS, Fondo de Solidaridad e Inversión Social:** Institución que busca contribuir en la superación de la pobreza y disminuir la vulnerabilidad social de familias, aportando respuestas en temas complementarios a los que abordan otros servicios del Estado.
- **INDAP, Instituto de Desarrollo Agropecuario:** Organismo estatal que promueve condiciones, genera capacidades y apoya con acciones de fomento, el desarrollo productivo sustentable de la agricultura familiar campesina y sus organizaciones.
- **INIA, Instituto de Investigación Agropecuaria:** Principal institución de Investigación agropecuaria en Chile, dependiente del Ministerio de Agricultura.

- **IPCC**, Panel Intergubernamental del Cambio Climático: Grupo de expertos cuyo objetivo es estudiar las causas y consecuencias del cambio climático.
- **Plan de Acción de Cambio Climático**: Instrumento articulador de un conjunto de lineamientos de orden político, que llevarán a cabo los organismos públicos competentes en materia de cambio climático y de sus efectos adversos.
- **SAG**, Servicio Agrícola Ganadero: Institución que busca desarrollar la industria en Chile mediante la protección de sus recursos productivos.
- **SVS**, Superintendencia de Valores y Seguros: Institución cuyo objetivo es velar por la transparencia de los mercados que supervisa, colaborar en el conocimiento y educación de inversionistas, asegurados y público en general.

Referencias

- **Arnell, N., Bates, B., Lang, H., Magnuson, J.J. y Mulholland P.**, 1996. Hydrology and freshwater ecology. In: Watson RT, Zinyowera MC, Moss RH (eds). *Climate change 1995: impacts adaptations and mitigation of climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, p 325-363.
- **Australian Government**, 2006. *National Agricultural and Climate Change Action Plan, 2006-2009*. Departamento de la Agricultura, Pesca y Forestal, en representación del Consejo Ministerial de Manejo de los Recursos Naturales. Disponible en: <http://www.daff.gov.au/climatechange>
- **Australian Government**, 2008. *Water for the Future: The Australian Government's plan for water*. Departamento del Medioambiente, agua, cultura y de las Artes. Disponible en: <http://www.environment.gov.au/water>
- **Barnett, T. P., Pierce, D. W. y Schnur, D.**, 2001. Detection of Anthropogenic Climate Change in the World's Oceans. *Science*, 292: 270 - 274.
- **CONAMA**, 2008. *Plan Nacional de Acción de Cambio Climático, 2008-2012*. Santiago.
- **DGF-CONAMA**, 2007. *Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI*. Santiago.
- **DWR**, 2009. California Water Plan, Update 2009: Integrated Water Management. *Public Review Draft*. Department of Water Resources, DWR, of the Natural Resources Agency. State of California. Disponible en: <http://www.water.ca.gov>
- **Fisher, A. y Rubio, S.**, 1997. Adjusting to climate change: Implications of increased variability and asymmetric adjustment costs for investment in water reserves. *Journal of Environmental Economics and Management* 34, 207-227.

- **IPCC**, 2002. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report. *Summary for Policymakers*. Disponible en: <http://www.ipcc.ch>
- **MINAGRI**, 2008. Cambio Climático, Medio Ambiente y Agua, *Revista Nuestra Tierra* 254.
- **Oficina Española del Cambio Climático**, 2006. *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático: Marco para la coordinación entre administraciones públicas para las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al Cambio Climático*. Secretaría General para la Prevención de la Contaminación y del Cambio Climático, Ministerio del Medioambiente. Disponible en: <http://www.marm.es>
- **Vicuña, S., Garreaud, R. y McPhee, J.**, 2009. Climate change impacts on the hydrology of a snowmelt driven basin in semiarid Chile, *Climatic Change*, in review.