



FORTALECIMIENTO  
DE LAS CAPACIDADES PARA  
HACER FRENTE AL  
CAMBIO GLOBAL





# FORTALECIMIENTO DE LAS CAPACIDADES PARA HACER FRENTE AL CAMBIO GLOBAL



# Índice

- INTRODUCCIÓN \_\_\_\_\_ 4
- DESARROLLO CIENTÍFICO Y GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO \_\_\_\_\_ 9
  - Líneas de investigación \_\_\_\_\_ 9
    - Línea de investigación en análisis de riesgo, toma de decisiones y representación de incertidumbre asociado al cambio climático \_\_\_\_\_ 9
    - Línea de investigación en modelación hidrológica-recursos hídricos-uso de suelo-energía \_\_\_\_\_ 18
    - Línea de investigación en monitoreo ambiental \_\_\_\_\_ 29
    - Línea de investigación en gestión del carbono \_\_\_\_\_ 38
    - Línea de investigación en ciudades y cambio global \_\_\_\_\_ 44
    - Línea de investigación en evaluación ambiental estratégica (EAE), instrumento de gestión ambiental para enfrentar el desafío del crecimiento frente al cambio global \_\_\_\_\_ 47
  - Publicaciones científicas \_\_\_\_\_ 52
- EQUIPO ACADÉMICO, CAPITAL HUMANO Y VISITAS INTERNACIONALES \_\_\_\_\_ 54
  - Equipo académico \_\_\_\_\_ 54
  - Inserción de científicos y formación de capital humano \_\_\_\_\_ 56
  - Visitas internacionales \_\_\_\_\_ 59



■ ESTABLECIMIENTO DE REDES Y DIFUSIÓN	62
Misiones científico-técnicas	62
Congresos internacionales	65
Seminarios y talleres internacionales	68
Talleres de capacitación	71
Publicaciones de extensión	73
■ INFRAESTRUCTURA	75
■ VISIÓN DE FUTURO	77

---

# INTRODUCCIÓN

---

El presente documento muestra los principales logros realizados por el Centro de Cambio Global de la Pontificia Universidad Católica (en adelante CCG-UC) en el marco del proyecto CORFO-INNOVA **“Fortalecimiento de capacidades para enfrentar los desafíos del cambio global en Chile”** (en adelante CORFO-CCG), adjudicado por el CCG-UC y desarrollado entre los años 2010-2013.

El CCG-UC es un centro de Investigación, Desarrollo e Innovación cuya misión es contribuir al desarrollo sustentable por la vía de la integración de la ciencia a los procesos de toma de decisiones tanto privados como públicos. Nuestra mayor fortaleza es la investigación e innovación permanente para el desarrollo de soluciones que integren el cambio global ambiental en la planificación estratégica y en la toma de decisiones en las esferas pública y privada.

El objetivo de este proyecto ha sido fortalecer las capacidades existentes del CCG-UC, en el desarrollo de análisis integrados y sistemas de apoyo a la toma de decisiones, para la gestión de los impactos del cambio global sobre sectores productivos y habilitadores de Clústers. La lectura de estas páginas permitirá dimensionar el esfuerzo de investigación realizado a lo largo de tres años de proyecto. Este trabajo ha ido acompañado de una serie de actividades de capacitación y difusión, elementos que han permitido extender el conocimiento generado hacia la comunidad y a los tomadores de decisiones del entorno político y económico del país.

Esta síntesis se estructura en cinco secciones. La primera sección está dedicada a los logros asociados al desarrollo científico y generación de conocimiento. La segunda sección presenta al equipo de personas que participaron en el desarrollo del proyecto, incluyendo las visitas internacionales que dieron forma a eventos tales como seminarios y talleres. Las actividades realizadas en función de establecer redes de investigación, así como actividades de difusión, son presentadas en la tercera sección, mientras que la cuarta sección muestra los avances logrados respecto a infraestructura y construcción de laboratorios de modelación. La última sección identifica desafíos futuros que se considera deben ser abordados por el país en el contexto del cambio global, tomando como base a los distintos logros científicos, políticos y técnicos que permitió este proyecto.,.

Queremos agradecer el apoyo de CORFO-INNOVA, el cual ha sido el pilar fundamental de este emprendimiento, y a Colbún S.A. quien ha actuado como socio y ha contribuido al financiamiento de este proyecto. Asimismo destacar el rol fundamental en la discusión estratégica y el apoyo brindado por el Ministerio del Medio Ambiente. Finalmente queremos expresar un reconocimiento especial al co-desarrollador de este proyecto, el Stockholm Environment Institute (SEI-US).

## Fortaleciendo capacidades: Un imperativo para enfrentar el Cambio Global

Francisco Meza, Director Centro de Cambio Global UC.

Nada hay más difícil que tratar de anticipar y cubrir las demandas que provienen de un sistema dinámico, puesto que se vive en la clásica tensión de una encrucijada. Por una parte, nos empuja el saber que las respuestas reactivas son inexorablemente tardías y que tienen asociados costos elevados, que en el caso de un país pueden ser muy duros de afrontar. Al mismo tiempo, la incertidumbre sobre la magnitud de las demandas futuras es un factor importante de riesgo e introduce frenos y limitaciones a la puesta en marcha de planes de adaptación y de mejora. Desde la perspectiva ambiental, este es precisamente el principal desafío que nos plantea el Cambio Global, al punto de poner en jaque el desarrollo sustentable de los pueblos.



Con la colaboración del Ministerio de Medio Ambiente, la empresa Colbún S.A. y el Stockholm Environment Institute (SEI) hemos trabajado en estos tres años en un proyecto de “Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para Enfrentar los Desafíos del Cambio Global en Chile”, financiado por CORFO-INNOVA, cuyos resultados son presentados a ustedes en las páginas de este libro. Más allá de un informe técnico, hemos querido compartir con ustedes la experiencia que ha significado dedicar recursos humanos y materiales para desarrollar habilidades, adquirir nuevos conocimientos y desarrollar una capacidad de respuesta material e intelectual frente al Cambio Global. Los resultados para el Centro son evidentes, pero estimamos asimismo que los beneficios han sido capitalizados por nuestros socios y por la comunidad en general. El diálogo permanente, el intercambio de experiencias y la construcción de un marco de análisis común, han sido los frutos más valiosos de este proceso y les estamos muy agradecidos a nuestros socios por haber querido embarcarse con nosotros en esta aventura.

Les invito a repasar, a través de la lectura de este libro, los principales hitos de este proyecto y empaparse del espíritu que le ha caracterizado; trabajo interdisciplinario para una mejor respuesta a este gran desafío.

## Colaboración Internacional como pilar fundamental del proceso de fortalecimiento de capacidades



David Purkey, Stockholm Environment Institute-US

Durante mi primer viaje a Chile en 1998, mi intención fue demostrar la utilidad de la herramienta Water Evaluation and Planning (WEAP), desarrollada por el SEI, a diversos tomadores de decisiones, mediante la presentación de los resultados asociados a un modelo del sistema de aguas de California, donde la cobertura nival de un sistema montañoso abastece de agua a sectores urbanos y agrícolas. Recuerdo haber estado muy asombrado –como ha sucedido a muchos–, por las similitudes existentes en Chile y California. Sin embargo, esto no fue de gran ayuda en mis primeros intentos de generar en Chile un interés en WEAP.

Hay que tener en cuenta que en 1998, el tema del cambio climático y sus impactos potenciales sobre los recursos hídricos estaba aun limitado a los rincones más remotos de la academia. Sin embargo, desde el año 2001, los profesionales del SEI hemos participado en el desarrollo de modelos de gestión de los recursos hídricos en base a información climática, y desde el año 2006 hemos tenido la fortuna de interactuar con colegas del Centro de Cambio Global UC en la aplicación de la herramienta WEAP tanto en Chile como en California. Esta colaboración ha permitido insertar esta herramienta a un amplio círculo de usuarios asociados a la Pontificia Universidad Católica de Chile. Actualmente, Chile es el octavo país con mayor número de usuarios de WEAP.

En el cierre del proyecto CORFO, el cual ha sido apoyado por el SEI mediante la activa participación de varios miembros de nuestro equipo, se da una buena oportunidad para reflexionar acerca de las lecciones aprendidas y los desafíos futuros de la investigación. Las páginas de este informe revelarán que el rol de los modelos en los procesos de toma de decisión bajo incertidumbres asociadas al cambio climático y otros factores de presión, es un tema que se ha propuesto como parte de este proyecto, pero que merece mayor consideración. Desde el SEI felicitamos al CCG-UC al momento de cierre de un proyecto tan relevante como este. Consideramos que el CCG-UC es un socio institucional muy valioso, por lo que deseamos seguir colaborando en el futuro en la definición de nuevas aproximaciones para el desarrollo de la planificación de los recursos hídricos en base a información climática.



## El compromiso de Colbún con la creación de capacidades para enfrentar el cambio global

Juan Solís, Subgerente de Desarrollo de Recursos Hídricos, COLBÚN

Para la empresa Colbún el cambio climático ha sido un aspecto relevante y de gran preocupación durante las últimas décadas. Prueba de ello es que la central de Colbún, Chacabucuito fue la primera central hidroeléctrica en el mundo en comercializar bonos de emisión de CO<sub>2</sub> bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) de las Naciones Unidas. Por otro lado, en estos últimos años se han venido analizado las oportunidades y riesgos que enfrentamos como consecuencia del cambio climático para considerarlos en nuestro negocio.



A partir de estas oportunidades hemos ido desarrollando un conjunto de iniciativas que nos permiten contar con un mix de generación balanceado, con alta participación de energía hidráulica apoyado de una componente térmica eficiente.

La misión de Colbún es generar valor de largo plazo desarrollando y gestionando activos de infraestructura energética para Chile e integrando con excelencia las dimensiones técnicas, económicas, sociales y ambientales. En ese contexto, es fundamental la mitigación y reducción de los efectos del cambio climático para asegurar la sostenibilidad del negocio.

De esta manera, con el apoyo de CORFO-INNOVA, hemos conformado una alianza con el Centro de Cambio Global de la UC y el Ministerio del Medio Ambiente con el fin de llevar adelante un proyecto de fortalecimiento de las capacidades del Centro para enfrentar los desafíos que nos pone por delante el cambio global.

Nos sentimos orgullosos de haber participado en este proyecto aportando con una semilla para el desarrollo de una infraestructura que nos brinde apoyo en aspectos relacionados a este fenómeno.

## El fortalecimiento de capacidades debe tener enfoques integrados



Andrea Rudnick, Jefa Oficina de Cambio Climático,  
Ministerio del Medio Ambiente.

La creación y fortalecimiento de capacidades en cambio climático es uno de los ejes estratégicos de trabajo en la Oficina de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente. Es un trabajo que se debe efectuar en todos los sectores de la sociedad y de forma permanente. Es un desafío que requiere de sólidos conocimientos específicos en la materia y de habilidades comunicacionales. El Centro de Cambio Global UC es singular y reúne esas características, por lo que cuando nos invitaron a participar de este proyecto aceptamos entusiasmados.

Quisiera destacar y contarles de aquellos logros implícitos del proyecto.

Alianzas fuertes. Uno de los principios fundamentales que debe guiar la acción en cambio climático es la generación de alianzas. La temática es tremendamente transversal y de largo plazo, lo que exige una fina coordinación entre los investigadores del sector académico, la elaboración de políticas desde el sector público y la implementación de las mismas desde el sector privado. Este proyecto es un positivo resultado de la creación de alianzas fuertes.

Investigación aplicada. En Chile aún se observa una brecha de conocimiento sobre cambio climático en el sector público y privado. La investigación aplicada permite acercar el conocimiento científico sobre cambio climático a la sociedad y generar los cambios que se requieren para avanzar hacia una economía baja en carbono y una adaptación efectiva. Este proyecto se inspira en lograr una investigación aplicable a políticas públicas y al sector privado, y es un resultado efectivo de aquello.

El proceso. Muchas veces olvidamos lo relevante que es el proceso. Cuando los proyectos tienen un proceso transparente, con relaciones profesionales, con buena comunicación y pensando en el bien común, se genera confianza. El proyecto conformó un directorio, que se reunió durante tres años bajo un régimen mensual. Sin duda que el sano proceso al interior de ese directorio repercutió en el exitoso desarrollo y culminación del proyecto. Gracias al Centro de Cambio Global UC, a Colbún y a Stockholm Environment Institute por permitirnos ser parte de este proyecto y contribuir a la creación y fortalecimiento de capacidades en cambio climático en Chile.

---

# DESARROLLO CIENTÍFICO Y GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO

---

El CCG-UC tiene como prioridad la actualización permanente y la visión de vanguardia para generar las soluciones integrales a los requerimientos de la industria y el sector público. Nuestra visión es contribuir al fortalecimiento de sectores estratégicos del país y de Latinoamérica para mejorar su capacidad de respuesta frente al Cambio Global. Esta contribución requiere de una constante actualización de la información y entendimiento que poseemos acerca del fenómeno del cambio global y las herramientas que podemos utilizar para hacerle frente. En este sentido uno de los principales aportes del proyecto CORFO-CCG ha sido el desarrollo de líneas de investigación que han permitido el fortalecimiento del CCG-UC. A continuación se presenta una breve síntesis de los principales logros en estas líneas de investigación desarrolladas en el marco del proyecto CORFO-CCG:

## LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

### **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN ANÁLISIS DE RIESGO, TOMA DE DECISIONES Y REPRESENTACIÓN DE INCERTIDUMBRE ASOCIADO AL CAMBIO CLIMÁTICO.**

La necesidad de representar las condiciones del clima futuro ha sido desde siempre una preocupación para la sociedad en su conjunto, dada la relevancia que juega el clima en las actividades productivas y cotidianas y en los procesos naturales que se desarrollan en la superficie terrestre. Conocer el comportamiento de estas variables permite tomar decisiones que reduzcan la vulnerabilidad de los sistemas (sociales y naturales) a cambios en las condiciones climáticas actuales y futuras, tales como el cambio en la temperatura, variación en la distribución de las precipitaciones a lo largo del año, etc.

Desde hace años, y respondiendo a los desafíos que el cambio climático impone, la comunidad científica ha desarrollado variadas herramientas que permiten obtener una representación a escala planetaria de las variables climáticas basándose en los principios físicos que las rigen, denominados Modelos de Circulación Global<sup>1</sup> (GCM, por sus siglas en inglés). A través de estos modelos se ha podido atribuir el gradual aumento de la temperatura del aire observado en diferentes regiones del planeta al aumento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera.

Los modelos GCM proporcionan estimaciones cuantitativas sobre los cambios climáticos futuros, a escala continental y planetaria. A pesar de las incertidumbres existentes en la proyección de estos escenarios climáticos futuros, los modelos son unánimes en cuanto a la proyección que hacen del calentamiento considerable del clima por el aumento en la concentración de los GEI. Las proyecciones con respecto a precipitación son más ambiguas existiendo diferencias importantes entre diferentes GCM no solamente en cuanto a la magnitud sino que también con respecto a la dirección del cambio. Sin perjuicio de lo anterior existen ciertas regiones con un mayor nivel de robustez en las proyecciones dentro de las que se encuentra gran parte del territorio chileno y del occidente argentino donde consistentemente se proyecta una reducción de precipitación<sup>2</sup>. Otro elemento que introduce un importante grado de incertidumbre con respecto a estas proyecciones corresponde a los escenarios futuros de emisión de GEI, asociados a distintas políticas y/o tasas de crecimiento económico y poblacional. En nuestro país se han utilizado, entre otros, los escenarios denominados A1b y B1 los cuales representan dos condiciones contrastantes en el rango de los escenarios de emisiones moderados.

<sup>1</sup> Le Treut, H., R. Somerville, U. Cubasch, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson and M. Prather, 2007: Historical Overview of Climate Change. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

<sup>2</sup> Christensen JH, Hewitson B, Busuioc A, Chen A, Gao X, Held I, Jones R, Kolli RK, Kwon RT, Laprise R, Magaña V, Mearns CG, Menendez CG, Raisanen J, Rinde A, Sarr A, Whetton P (2007) Regional climate projections'. In: Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, New York.



## Utilización de escenarios climáticos futuros a través de una bajada de escala o downscaling

Los resultados que se obtienen directamente a partir de los GCMs sirven para explorar las principales tendencias climáticas esperadas en alguna región en particular tal como se presenta en la Figura 1 para el caso de la estación Maule en Armerillo, en la Región del Maule.

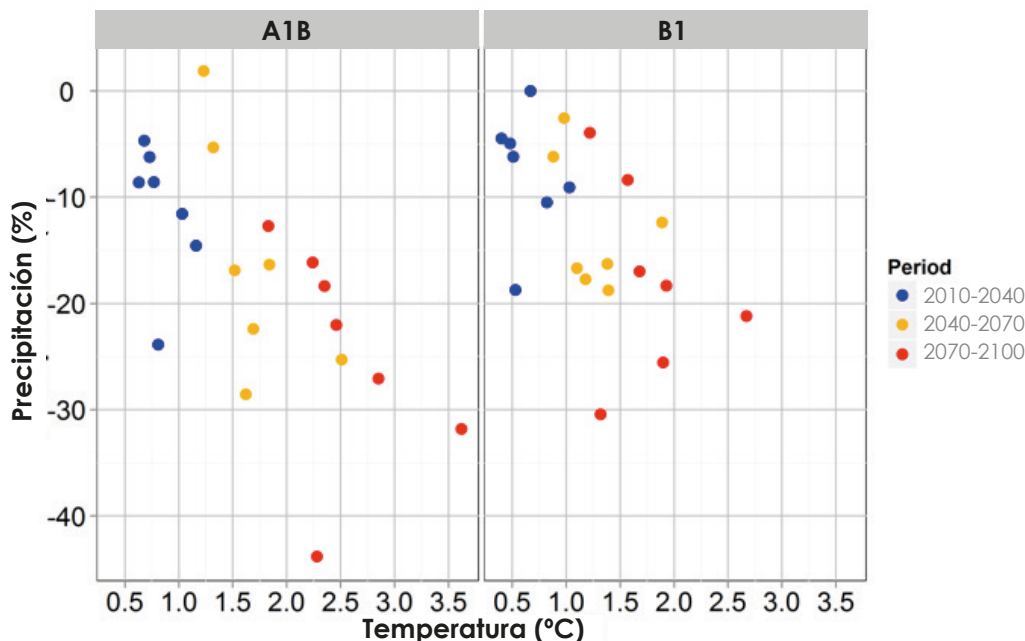


Figura 1. Cambio de precipitaciones (porcentaje) y cambio en temperatura (grados) proyectado de acuerdo a distintos GCM, y dos escenarios de GEI, para la estación Maule en Armerillo, Región del Maule. Resultados son para el promedio de 30 años respecto a las condiciones históricas de cada GCM considerado según periodo (temprano=2010-2040, intermedio=2040-2070 y tardío=2070-2100).

Sin embargo, las grillas que representan la resolución espacial de estos modelos tienen una dimensión sobre los 200 Kms. lo que implica que los escenarios climáticos que se extraen directamente de un GCM poseen una serie de limitaciones para poder ser usados directamente como dato de entrada a algún modelo o para la toma de decisiones de medidas de adaptación. A modo de ejemplo en la Figura 2 se comparan las salidas directas de los GCMs con las condiciones históricas observadas en estación Maule en Armerillo, Región del Maule. La información se entrega con respecto a la estacionalidad de las precipitaciones (promedios mensuales) y las magnitudes y variabilidad de la precipitación anual.

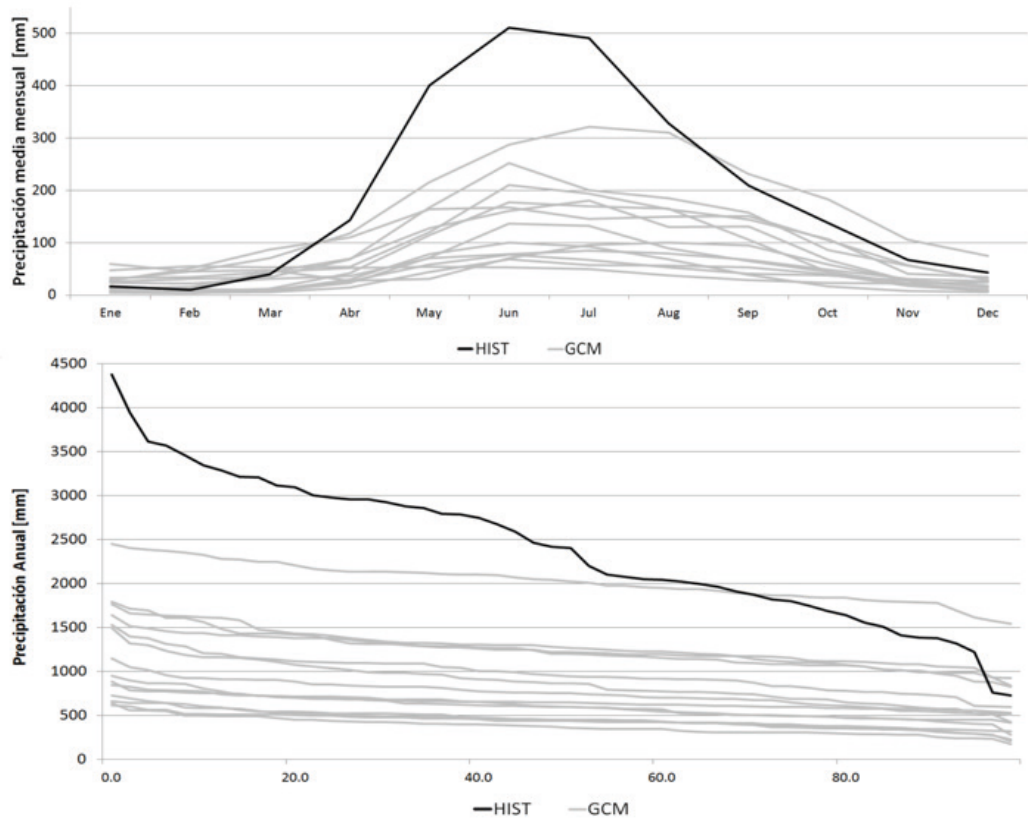


Figura 2. Comparación condiciones históricas observadas y resultados directos de GCMs, estación Maule en Armerillo, Región del Maule. a) Precipitación promedio mensual; b) Curva de excedencia de precipitación anual

Queda de manifiesto en las figuras que para poder utilizar la información proveniente de los GCMs, se requiere de una etapa intermedia donde se baja la escala espacial desde el GCM hasta un punto o los puntos de interés en una cuenca. Este proceso es llamado “bajada de escala o downscaling” . A través del apoyo del proyecto CORFO-CCG fue posible desarrollar dos metodologías de downscaling. Una de estas metodologías genera información a nivel de una estación meteorológica puntual y la otra metodología genera información en formato de grilla. Ambas metodologías se explican a continuación.

### **Metodología de downscaling punto a punto**

La metodología de downscaling desarrollada en esta línea de investigación corresponde a la categoría de downscaling estadístico (a diferencia de métodos de downscaling dinámicos). A través de esta metodología se busca generar una correspondencia estadística entre las condiciones históricas observadas con las condiciones históricas modeladas por los GCM, usando la distribución de probabilidades de ocurrencia de las distintas variables. Este ajuste es posteriormente utilizado para representar las condiciones climáticas futuras. El proceso de downscaling tiene ciertas limitaciones y dependiendo de la calidad de los datos provenientes del GCM y la extensión de datos históricos para llevar a cabo el procedimiento de incorporación, puede generar información más o menos cercana a la realidad climática de la región. Sin perjuicio de lo anterior, esta metodología permite incorporar posibles cambios en la variabilidad interanual que pueda estar representada en los modelos GCMs. La Figura 3 muestra distintas representaciones de las salidas obtenidas para las variables temperatura y precipitación en la Estación Armerillo de la cuenca del Río Maule. Estas series climáticas pueden ser utilizadas como dato de entrada para distintos procesos de modelación o análisis, como por ejemplo modelos hidrológicos tal como se desarrolla en la siguiente línea de investigación.

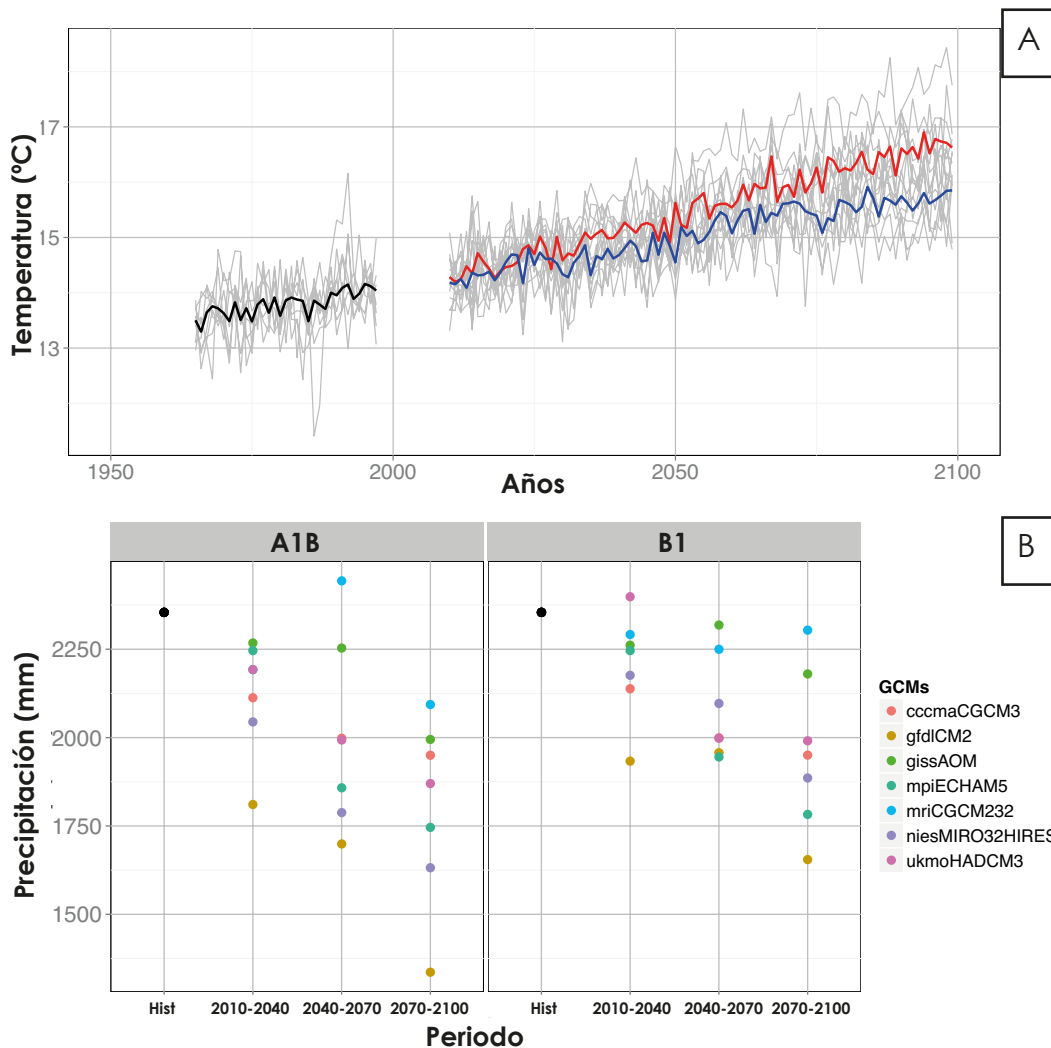


Figura 3. Salidas del proceso de downscaling para estación Armerillo en la cuenca del río Maule, según a) Serie de promedios anuales de temperatura para el periodo control y futuro, destacándose la serie promedio anual según escenario (control-negro, A1b-rojo y B1-azul) y b) promedios de totales anuales de precipitación según periodo para cada uno de los GCM analizados.



## Generación de datos de climáticos en grilla

El advenimiento de computadoras más poderosas en las últimas décadas ha propiciado el desarrollo de modelos hidrológicos capaces de representar en gran nivel de detalle los procesos hidrológicos en una cuenca. Estos modelos se basan en procesos físicos que representan numéricamente la respuesta de un evento de precipitación en grillas regularmente distribuidas en espacio y a escalas de tiempo horarias. Sin embargo, debido a la escasa información pluviométrica disponible, la implementación de un modelo hidrológico de estas características en la región central de Chile requiere el desarrollo de base de datos climáticos a una resolución espacial adecuada. Esta base de datos fue desarrollada como parte de esta línea de investigación utilizando como punto de partida una serie de datos engrillada desarrollada por la Universidad de Princeton de Estados Unidos tomando datos del Reanálisis del National Center for Environmental-National Center for Atmospheric Research<sup>3</sup> (NCEP-NCAR). Las observaciones de precipitación disponibles en las bases de datos de Climatic Research Unit (CRU) y del Global Precipitation Climatology Project muestran un gradiente de precipitación opuesto a lo observado en la región central de Chile de acuerdo a lo registrado por la Dirección General de Aguas (DGA). Esto es el resultado del escaso número de pluviómetros incluidos en la validación de los datos. La Figura 4 muestra en los paneles superiores (a y b) la precipitación anual para la región central de Chile original y ajustada usando un método cokrigging que utiliza la elevación como variable dependiente. Para distintas bandas latitudinales, la precipitación muestra un gradiente negativo con elevación en la base de datos en grilla, mientras que los datos de la ajustados exhiben un gradiente opuesto (Figura 4 paneles inferiores c y d).

<sup>3</sup> Sheffield, J., Goteti, G., Wood, E.F., development of a 50-year high-resolution global dataset of meteorological forcings for land surface modeling. Journal of Climate, 19(13): 3088-3111.

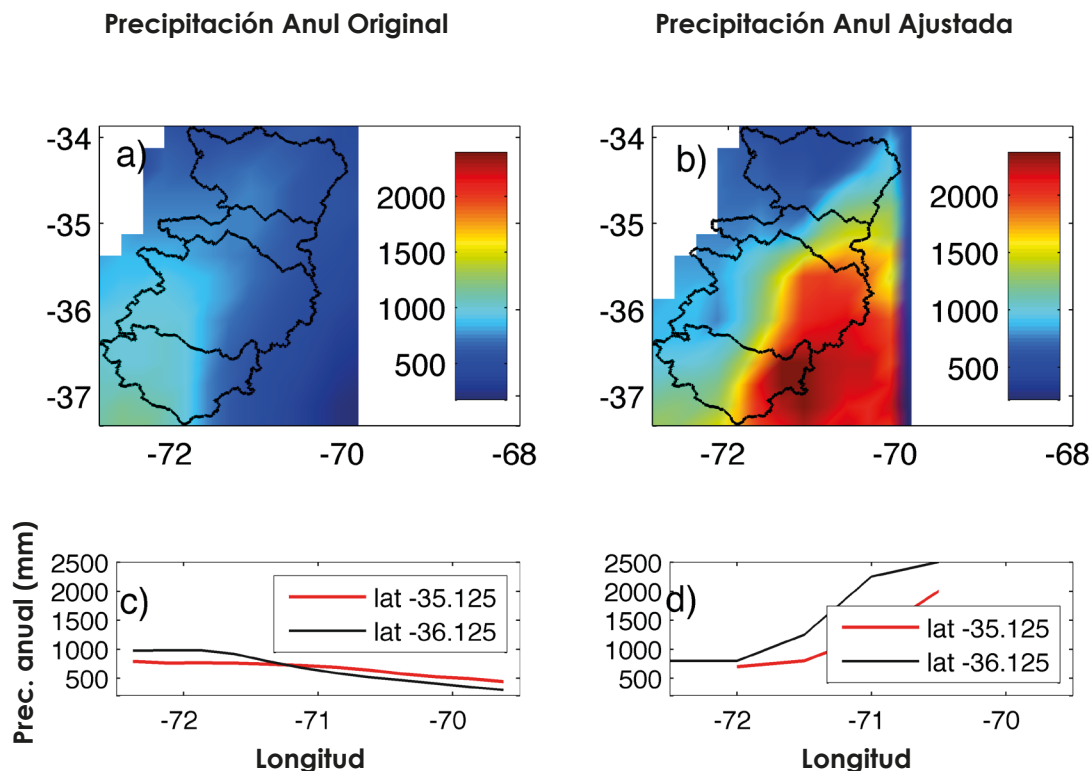


Figura 4. Mapas de precipitación anual región Central de Chile para el periodo 1951-1980. a) Observaciones globales en grilla original. b) Observaciones globales en grilla ajustada. Gradiente de precipitación para bandas latitudinales -35.125o S y -36.125o S para c) precipitación original y d) precipitación ajustada. Las cuencas de norte a sur son: Rapel, Mataquito, Maule e Itata.

Para revertir el gradiente presente en los datos de precipitación grillados, un método simple fue implementado usando un grupo de estaciones pluviométricas proporcionadas por la DGA. Para el período 1983-2007 (el período con la más completa cobertura), se seleccionaron estaciones pluviométricas que cumplieran dos criterios: 1) al menos 20 años de datos, y 2) no más de 10 % de datos faltantes. La precipitación media mensual fue calculada para cada mes del año, lo que dio por resultado 12 valores de precipitación para cada estación para el período climatológico. Estos valores mensuales fueron interpolados a una grilla de 0,25° usando cokrigging con elevación como variable dependiente y posteriormente usados para ajustar los campos de precipitación.

Cuán efectivo es el ajuste aplicado a los datos de precipitación en grilla se pone en evidencia en la Figura 5, en la que se muestran los caudales mensuales observados y simulados con los datos de precipitación originales y ajustados para la estación Licantén en la cuenca del río Mataquito. La figura muestra que el ajuste realizado ayuda a capturar importantes características hidrológicas en la cuenca, incluyendo los caudales bajos y los pulsos asociados al derretimiento de nieve. Los datos originales presentan una pobre caracterización de la estacionalidad de los caudales bajos la cual no pudo ser mejorada mediante la calibración del modelo, lo que indica que la distribución espacial de precipitación en la base de datos grillados cruda no era la más apropiada para simulaciones hidroclimáticas en esta región.

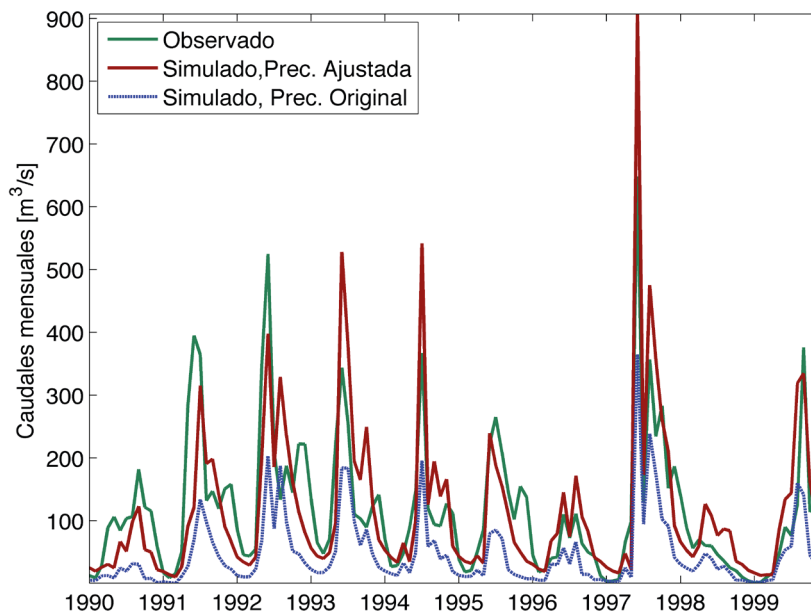


Figura 5. Caudales mensuales observados y simulados para el río Mataquito en Licantén usando datos de precipitación grillada original y ajustada.

## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN MODELACIÓN HIDROLÓGICA-RECURSOS HÍDRICOS-USO DE SUELO-ENERGÍA

En los últimos años se ha avanzado mucho en Chile en el entendimiento de los impactos del cambio climático en la hidrología y disponibilidad de recursos hídricos en diversas cuencas del país. Algunos ejemplos de estos avances se pueden apreciar en Vicuña et al. (2011)<sup>4</sup>, Meza et al. (2012)<sup>5</sup> y Ministerio de Medio Ambiente (2012)<sup>6</sup>. Sin embargo, existen elementos críticos de esta problemática que todavía no han sido abordados en los cuales se logró avanzar de manera significativa gracias al apoyo del proyecto CORFO-CCG y sus socios.

Uno de estos elementos se asocia a la posibilidad de entender las relaciones entre cambio de uso de suelo y condiciones climáticas sobre la ocurrencia de eventos hidrológicos extremos. Con respecto a esta necesidad, y siguiendo con el trabajo de generación de información climática en grilla desarrollado en la línea de investigación expuesta anteriormente, se desarrolló un modelo hidrológico distribuido para la zona central de Chile que permite interpretar los posibles impactos asociados a escenarios climáticos y también el efecto del uso del suelo.

El otro aspecto en el cual se avanzó gracias al apoyo de este proyecto se asocia a la posibilidad de modelar bajo una herramienta integrada el nexo agua-energía. Con el apoyo del Stockholm Environment Institute-SEI, co-desarrollador del proyecto CORFO-CCG, se ha desarrollado una línea de investigación para lograr el acople de las plataformas computacionales Water Evaluation and Planning (WEAP) y Long-range Energy Alternatives Planning System (LEAP), modelos desarrollados por el SEI, para poder así representar el impacto del cambio climático en la generación hidroeléctrica en Chile y consecuentemente en la emisión de GEI.

<sup>4</sup> Vicuña S., Garreaud R.D., McPhee J. 2011 Climate change impacts on the hydrology of a snowmelt driven basin in semiarid Chile. *Climatic Change* 105: 469-488

<sup>5</sup> Meza F. J., D. S. Wilks, L. Gurovich, N. Bambach. (2012) Impacts of climate change on irrigated agriculture in the Maipo Basin, Chile: reliability of water rights and changes in the demand for irrigation. *Journal of Water Resources Planning and Management* 138(5), 421–430

<sup>6</sup> Ministerio del Medio Ambiente (MMA), 2011. Segunda comunicación nacional de Chile ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático.



## Modelación hidrológica de escenarios climáticos futuros a escala diaria

Con posterioridad al desarrollo del último informe del IPCC (2007) se ha continuado el desarrollo de escenarios climáticos futuros. En el marco de esta línea de investigación se llevó a cabo una comparación de las condiciones hidrológicas extremas proyectados para el futuro en la cuenca del Río Mataquito en base a los escenarios utilizados en el IPCC (2007) y los nuevos escenarios de GCM recientemente desarrollados. En total se consideran 12 GCMs y dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero en ambos casos. Con los datos de precipitación y temperatura ajustados a nivel de grilla presentados anteriormente, se desarrolló un downscaling de estas proyecciones climáticas usando el periodo 1960-1999 como referencia. Se seleccionaron dos periodos futuros en el siglo XXI para comparar cambios relativos al periodo histórico: 2020-2049 y 2070-2999. Un modelo hidrológico distribuido, el Variable Infiltration Capacity o VIC (Liang et al., 1994), fue utilizado para simular distintos flujos del ciclo hidrológico: caudales, contenido de agua equivalente en nieve, evapotranspiración y humedad del suelo entre otros. Las proyecciones climáticas para el siglo XXI anticipan un clima más cálido y más seco, con temperaturas aumentando entre 2-4.2° C para finales del siglo en el escenario más agresivo mientras que la precipitación disminuyendo en promedio un 20% relativo al periodo histórico. La Figura 6 muestra las proyecciones de precipitación, temperatura, caudales y equivalente de agua en nieve para el siglo XX y XXI usando el escenario RCP= Representative Concentration Pathways 8.5.

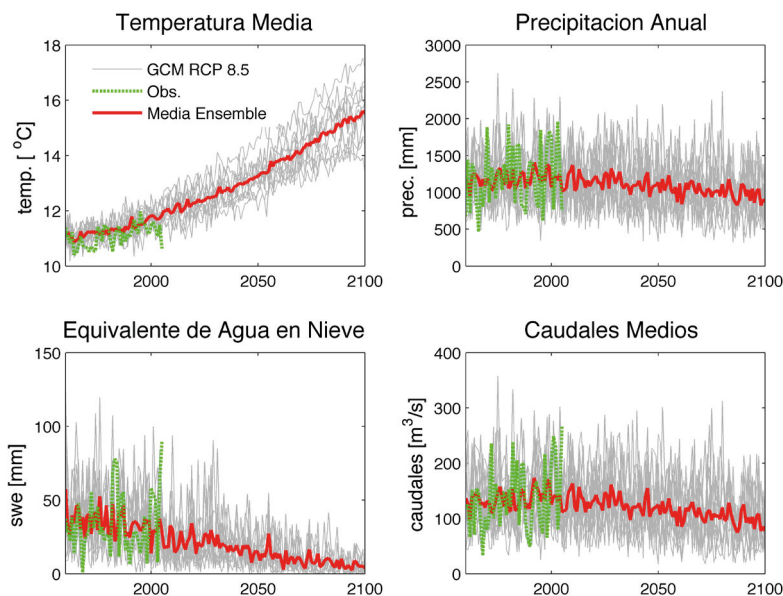


Figura 6. Proyecciones climáticas para el siglo XXI en la cuenca del río Mataquito. Los valores anuales han sido suavizados con una media móvil de 11 años.

Si bien las tendencias en los valores anuales de las variables hidrometeorológicas dan una idea de los impactos del cambio climático a largo plazo, hidrólogos e ingenieros están más interesados en estudiar cómo la magnitud de los caudales picos puede ser afectada por un clima más cálido y ligeramente más seco. Para ello es útil seleccionar los máximos anuales de precipitación y caudales y analizarlos estadísticamente usando una distribución teórica de probabilidades. Un análisis de eventos extremos de precipitación y caudales en la cuenca del río Mataquito indica que, a pesar de los valores anuales tener una tendencia decreciente, la intensidad de las precipitaciones aumentará durante el siglo XXI para distintos períodos de retornos. Un periodo de retorno particularmente importante es el de 100 años que es el utilizado para el diseño de obras hidráulicas como es el caso de puentes. Resultados para la cuenca del río Mataquito indican que las magnitudes de los caudales máximos anuales aumentarán y que por lo tanto los caudales de diseño usados en el diseño y verificación de obras hidráulicas en la cuenca se verán afectados (ver Figura 7). No solo para el diseño de obras futuras se debe tener en cuenta el impacto del cambio climático, sino que la tasa de erosión para obras existentes debe ser verificada. Esto permitirá evaluar la probabilidad de falla de puentes y otras obras, con el fin de programar las medidas de protección necesarias. Como consecuencia de caudales picos más extremos y frecuentes se hace también necesario adecuar los umbrales de alerta por inundación y diseñar planes de evacuación acordes. Si bien los resultados presentados en esta sección son válidos para la cuenca del río Mataquito, bosquejan los procedimientos necesarios que deben ser implementados para evaluar los efectos de climas más cálidos en otras cuencas en Chile. En etapas posteriores de investigación se analizará con la herramienta desarrollada el efecto hidrológico del cambio de uso de suelo.

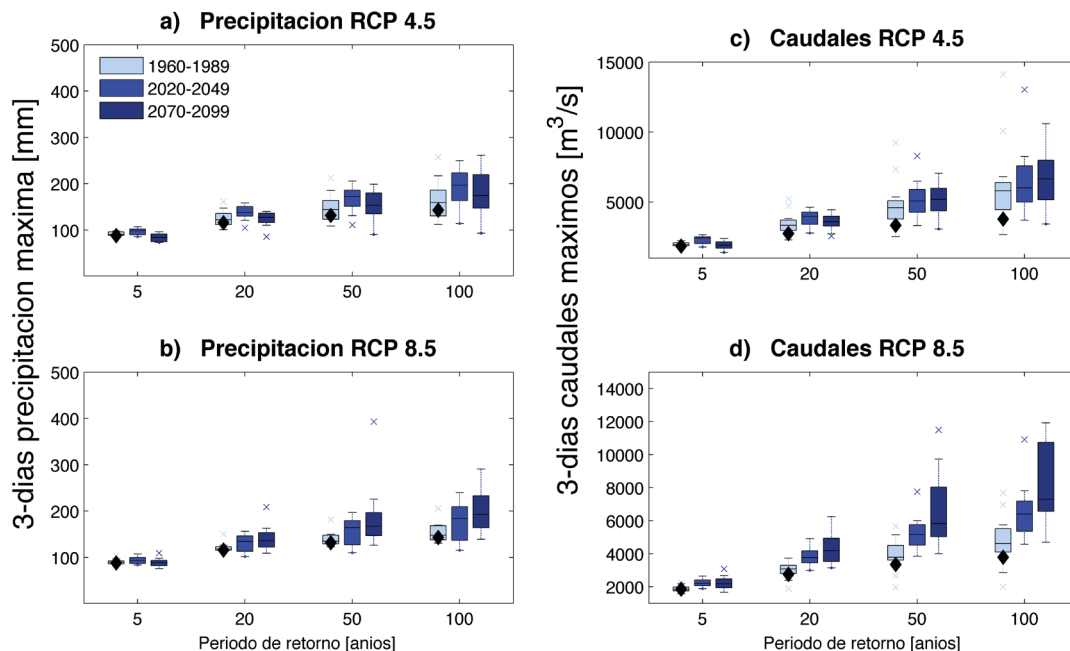


Figura 7. Máximo anual de precipitación media areal (3-días) para diferentes períodos de retorno usando una distribución GEV (Valores Extremos Generalizados). a) RCP 4.5, b) RCP 8.5., y Caudales máximos observados en 3 días c) RCP 4.5 y d) RCP 8.5. El rombo negro representa el valor simulado.

## Modelación de recursos hídricos de las cuencas del río Maule y Laja y análisis de impactos del cambio climático

El modelo WEAP combina procesos físicos (precipitación, acumulación de nieve, evaporación, flujo de agua en ríos) con la operación e infraestructura del sistema (canales, demanda agrícola de agua, uso para generación hidroeléctrica, derechos de agua, etc). Para los objetivos de esta línea de investigación se desarrolló y calibró una aplicación del modelo WEAP para la primera sección del río Maule, donde opera la Junta de Vigilancia del Río Maule. En la Figura 8 se puede apreciar el esquema del modelo desarrollado. La zona alta de la cuenca está representada por una serie de subcuencas, las cuales están a su vez divididas en las unidades hidrológicas en las que opera WEAP, los catchments. En estas unidades independientes, ocurren todos los procesos hidrológicos relevantes: acumulación/ derretimiento de nieve, precipitación, evapotranspiración, infiltración al suelo, etc. En esta zona alta también se representan las centrales hidroeléctricas, las que generan energía eléctrica dependiendo de sus características propias (caudal máximo

de generación, altura de caída, eficiencia, etc) y del caudal que pasa a través de sus turbinas. Luego, el agua de la zona alta es conducida a través de los ríos secundarios hacia el río principal, el cual llega al sector medio de la cuenca, dominado por la agricultura, representado por nodos de demanda. Los nodos de demanda, le “exigen” al modelo el agua correspondiente al agregado de los derechos de agua de los agricultores agrupados en distintas asociaciones de canalistas. De esta manera, el modelo conjuga los procesos hidrológicos naturales, con la operación del sistema hidroeléctrico - agrícola.



Figura 8. Esquema en WEAP del modelo construido para la primera sección del río Maule.

Para medir los impactos del cambio climático se utilizaron las proyecciones climáticas que surgen de GCM escaladas a la ubicación de las principales estaciones meteorológicas en la cuenca para distintos periodos en el siglo XXI utilizando la metodología desarrollada en la línea de investigación explicada con anterioridad. En la Figura 9 se muestran las series mensuales de 7 modelos distintos y sus promedios para dos escenarios de emisión de GEI distintos (B1, azul; A1b, rojo).<sup>7</sup>

<sup>7</sup> En este estudio se utilizaron los escenarios denominados A1B y B1 los cuales representan dos condiciones contrastantes en el rango de los escenarios de emisiones moderados, siendo el B1 un escenario de menor crecimiento en la concentración de GEI que el A1B.

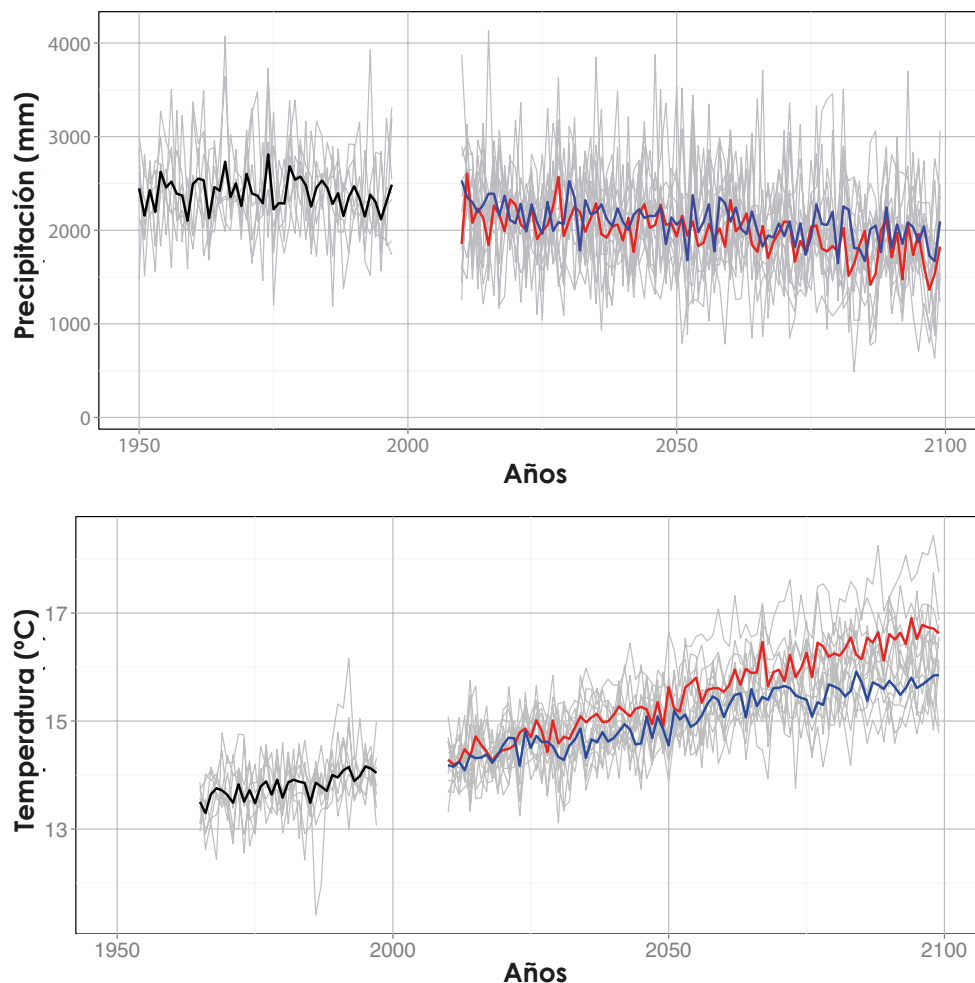


Figura 9. Proyecciones de distintos GCMs para la estación Maule en Armerillo. En rojo (azul) promedio escenarios A1b (B1)

Los indicadores utilizados para medir el impacto de estos cambios climáticos, fueron la *cobertura agrícola* y el *factor de planta de las centrales hidroeléctricas (energía generada versus energía máxima generable)*, de manera de poder comparar estos valores en distintos períodos. En la Figura 10 se muestra estos índices para una modelación desde el año 2010 hasta el 2100. Se ve la tendencia de disminución de ambos indicadores a futuro y un aumento en su variabilidad (dada por la amplitud de los valores individuales de los modelos).

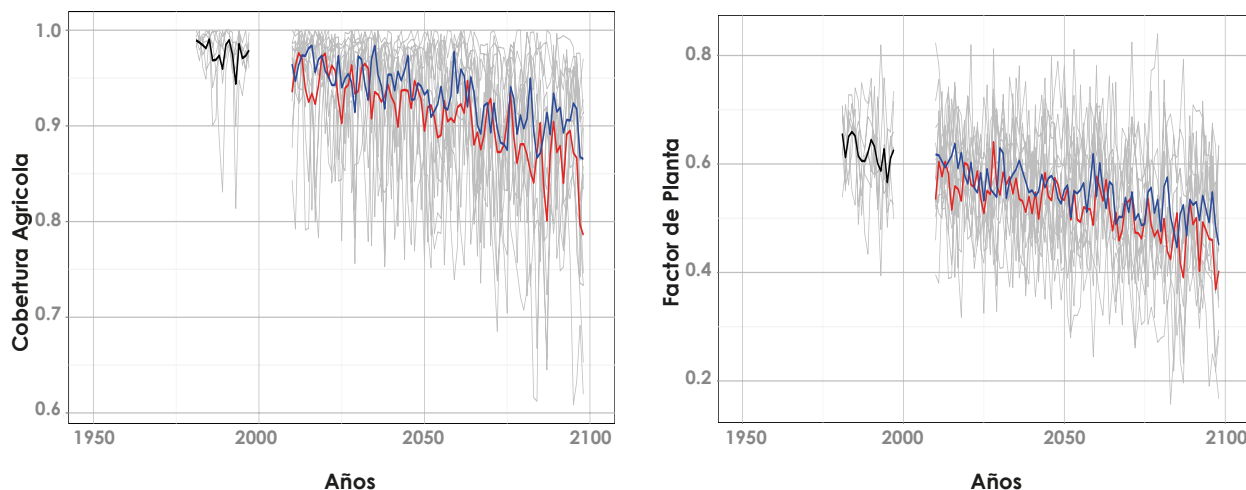


Figura 10. Resultados de la modelación sobre: a) Cobertura Agrícola y b) Centrales Hidroeléctricas. En rojo (azul) promedio escenarios A1b (B1).

Los resultados de esta línea de investigación nos muestran los posibles impactos asociados al cambio climático en la cuenca del río Maule, los cuales se reflejan en una disminución de la disponibilidad de agua en el río y por ende, en un menor uso para las principales actividades productivas de la zona: agricultura e hidroelectricidad.

En paralelo al trabajo en el Río Maule, se llevó a cabo un trabajo similar de modelación usando la plataforma WEAP para la cuenca del Río Laja. Las cuencas del Laja y el Maule concentran alrededor de un 45% de la capacidad instalada de generación hidroeléctrica del país. El desarrollo del modelo de la cuenca del Río Laja estuvo a cargo del profesor James McPhee del Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. En este proceso fue necesaria la construcción de un modelo operacional de la Laguna Laja tomando en cuenta convenios legales así como la operación histórica de la central hidroeléctrica El Toro y otras obras de regulación en la cuenca. Con este modelo calibrado se estudiaron los impactos del cambio climático en base a 12 modelos GCM y 3 escenarios GEI. Al igual que en el caso de la cuenca del Río Maule, los resultados de estos modelos proyectan un alza y una baja sostenidas de temperatura y precipitación, respectivamente. Para el sector agrícola, los cambios en la seguridad de riego reflejan el ordenamiento propuesto en el convenio legal de operación de 1958. En relación a las centrales hidroeléctricas, se proyectaron disminuciones de energía superiores al 10% en el periodo más tardío.

## Modelo integrado Agua-Energía.

Durante el año 2012, el SEI, responsable del desarrollo de los modelos WEAP y LEAP, realizó modificaciones a ambas plataformas con el objetivo de poder integrar el análisis integrado del nexo agua y energía. Utilizando esta experiencia en el marco del proyecto CORFO-CCG se trabajó en la integración de los modelos WEAP para las cuencas Laja y Maule con un modelo del sector eléctrico chileno (Sistema Interconectado Central) para estudiar su comportamiento frente a escenarios de cambio climático.

En esta aplicación en particular el acople entre ambas plataformas ocurre en el nexo asociada a la generación hidroeléctrica. En el caso de las centrales hidroeléctricas ubicadas en las cuencas del Río Laja y Maule, la simulación de la generación bajo distintos escenarios climáticos se basa en los modelos WEAP presentados anteriormente. La generación del resto de las centrales en otras cuencas del país, se obtuvo mediante la construcción de regresiones estadísticas que permitieran predecir el comportamiento de la generación de centrales de otras cuencas (SIC Norte, Cachapoal, Bío Bío, SIC Sur y Aysén) en base a la generación de las centrales pertenecientes a las cuencas del Laja y Maule. Para estimar dichas relaciones, se utilizaron los datos de generación histórica a nivel mensual del CDEC – SIC. Las regresiones entregan como resultado un factor de planta a nivel mensual asociado a cada tecnología hídrica (Pasada, Pasada ERNC y Embalse) que se utiliza posteriormente en el modelo LEAP.

En esta aplicación de la plataforma LEAP se ha modelado el Sistema Interconectado Central (SIC) hasta el año 2030 con cambios proyectados en tecnologías de generación y demanda. Con la ayuda de una amplia revisión del parque generador planificado, se construyó un modelo de despacho simplificado considerando las centrales del SIC agrupadas por cuenca hidrológica para el caso de la energía hidráulica y por tecnología para el resto. El modelo se calibró considerando la capacidad instalada entre el año 1981 y 2011, y se proyectó la demanda por energía y precios de combustibles y tecnologías para estimar la generación eléctrica y emisiones de GEI a futuro, considerando un despacho a mínimo costo.

La integración de ambas plataformas se realiza mediante la construcción de un módulo VBA (visual basic para aplicaciones), que controla la ejecución y obtención de resultados del modelo WEAP, la estimación de factores de planta asociados a las cuencas no modeladas en WEAP, y la ejecución y obtención de resultados del modelo en LEAP. Lo anterior, se representa en el siguiente esquema:

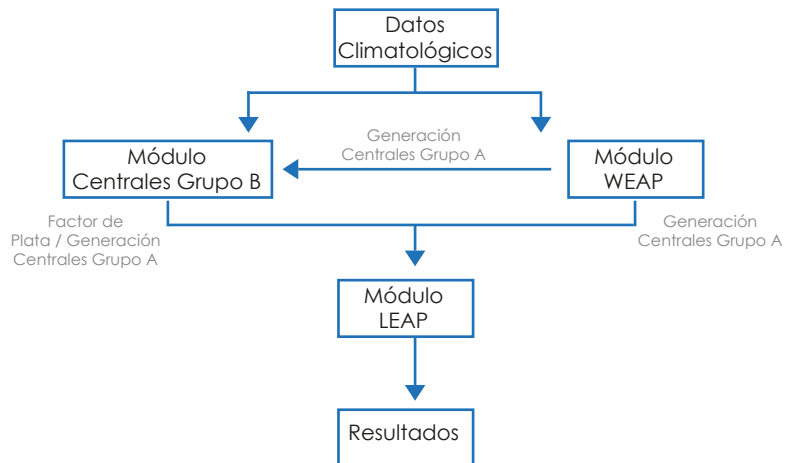


Figura 11 Esquema Conceptual Modelación Sistema Eléctrico con WEAP y LEAP

Una vez desarrollada esta plataforma integrada se evaluaron los impactos del cambio climático a través de dos análisis diferentes: un análisis de sensibilidad y un análisis transiente.

1. **Análisis de Sensibilidad:** Tomando en cuenta la climatología histórica (1981 – 2008), se estudia el comportamiento del sector eléctrico a cambios dicretos en precipitación y temperatura, manteniendo un status quo en la capacidad instalada y demanda por electricidad en el sector de generación eléctrica.
2. **Análisis Transiente:** Se estudia el comportamiento del sector de generación eléctrica según distintos escenarios de cambio climático desarrollados en base a la metodología de downscaling explicada con anterioridad. Se consideran 8 modelos, y 2 escenarios de cambio climático para cada uno, en total 16 combinaciones. Adicionalmente se considera un cambio progresivo en la demanda y la capacidad instalada de generación.

A continuación se presentan solamente los resultados en base al análisis de sensibilidad. Entre los resultados obtenidos se cuenta con los cambios en generación hidroeléctrica, generación térmica y emisiones de GEI asociados a los escenarios de sensibilidad evaluado.

Se puede ver en la Figura 12 que la generación hidroeléctricas se ve impactada tanto por la variación en la precipitación como por un aumento en la temperatura promedio, llegando a una reducción de más de 15% para una reducción del 25% en la precipitación y a un aumento de sobre 5% con un aumento de 25% en la precipitación. La asimetría en los resultados se puede



asociar a que al existir una capacidad de generación fija, en términos relativos existe un menor aprovechamiento de beneficios cuando hay un aumento en la disponibilidad de recursos hídricos. Es importante destacar que un aumento de la temperatura produce una reducción en la generación hidroeléctrica, debido probablemente a la pérdida del recurso hídrico producto de un aumento en la demanda por evaporación.

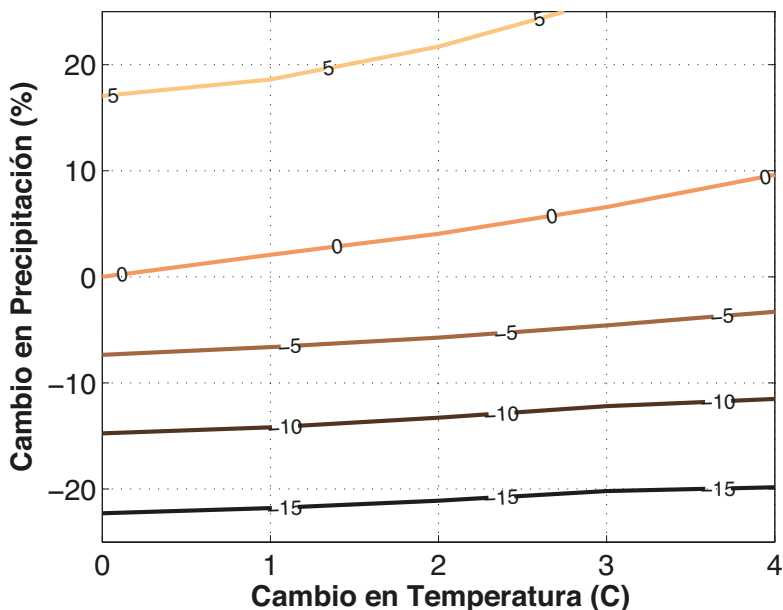


Figura 12. Variaciones en generación hidroeléctrica bajo distintos escenarios de sensibilidad climática simulados en la plataforma WEAP-LEAP

La emisión de GEI del sistema (ver Figura 13), también sufre un impacto al estar relacionada con la generación térmica, y esa última con la cantidad de generación hidroeléctrica o demanda no satisfecha con energía hidroeléctrica. En este caso se puede apreciar que una reducción del 25% en los niveles de precipitación puede llegar a aumentar en más de un 25% la emisión de GEI en Chile, mientras que un aumento del orden del 25% en la precipitación genera una reducción del 10% en la emisión de GEI. Tomando en cuenta que los escenarios de cambio climático proyectan para un periodo temprano (2010-2040) una reducción en torno a un 10% en los niveles de precipitación y un aumento en la temperatura en torno a un 1 °C se podría esperar un aumento en torno a un 12% en las emisiones anuales de GEI para la generación eléctrica del sistema actualmente instalado para satisfacer las demandas del SIC.

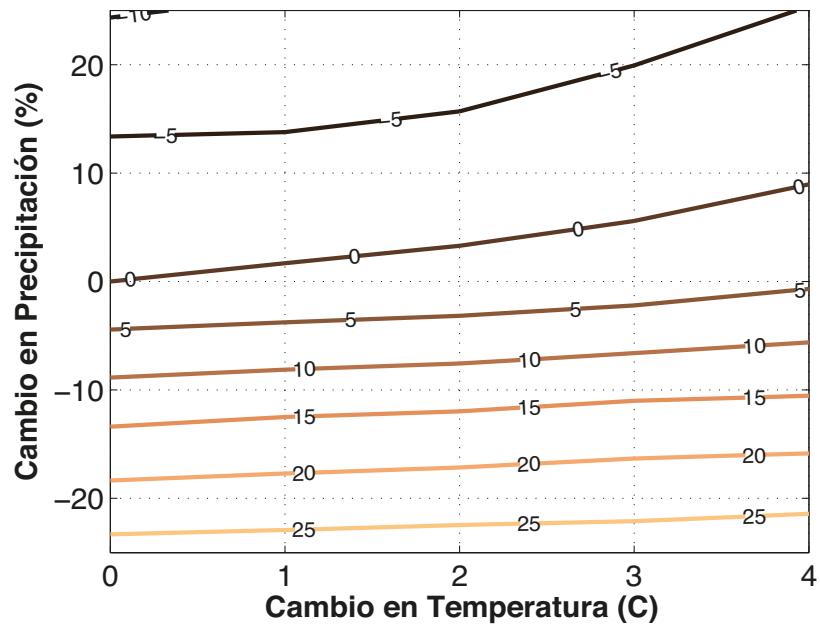


Figura 13. Variaciones en emisiones de GEI bajo distintos escenarios de sensibilidad climática simuladas en la plataforma WEAP-LEAP simuladas en LEAP

## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN MONITOREO AMBIENTAL

Conscientes de la enorme complejidad que caracteriza los sistemas naturales y de la necesidad de incrementar la resolución espacial y temporal de nuestros sistemas de monitoreo es que se ha diseñado esta línea de investigación. El monitoreo ambiental es indispensable para detectar la ocurrencia de fenómenos que indiquen cambios globales y también nos permite gestionar de mejor manera los recursos naturales y servicios ecosistémicos que son entregados por los ambientes naturales.

### **Evaluación de tendencias y variabilidad en la productividad y fenología vegetativa en Chile mediante el uso de percepción remota**

Las regiones ubicadas a lo largo de la cordillera de Los Andes han mostrado cambios en los patrones de crecimiento vegetativo en respuesta a la variabilidad de patrones climáticos, tales como sequías, así como también a cambios en el uso de suelo y niveles de demanda de agua. Con el apoyo del Proyecto CORFO-CCG fue posible contar con la visita y colaboración del Profesor Willem van Leeuwen de la Universidad de Arizona, y desarrollar un estudio que tuvo por objetivo evaluar y cuantificar estos cambios. Este trabajo contó además con el apoyo de NASA y utilizó series de datos del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para 30 años (con una resolución temporal de 15 días y espacial de 8 km.). La información fue utilizada para caracterizar la variabilidad interanual, detectar la presencia de cambios y tendencias significativos en la productividad y fenología en la superficie terrestre (Figura 14). También se analizó el efecto de indicadores climáticos sobre la productividad de la vegetación y la dinámica temporal de la actividad vegetativa (Figura 15). Los resultados asociados a esta investigación han sido publicados en la revista Remote Sensing<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> van Leeuwen, Willem J.D.; Hartfield, Kyle; Miranda, Marcelo; Meza, Francisco J. 2013. Trends and ENSO/AAO Driven Variability in NDVI Derived Productivity and Phenology alongside the Andes Mountains. Remote Sens. 5, no. 3: 1177-1203. doi:10.3390/rs5031177

## Productividad en la superficie terrestre

Para cada año de la serie de tiempo en estudio, se utilizaron los valores de NDVI de los meses de la estación de crecimiento (Julio a Junio) como “representantes” de la productividad en la superficie. El NDVI anual promedio para los 30 años y su coeficiente de variación para el periodo 1982-2011 se presentan en la Figura 14a y 14b respectivamente. En Chile, los valores de NDVI son mayores para los bosques templados. Los menores valores de NDVI se asociaron al desierto de Atacama y al extremo sur de Argentina. Tendencias negativas en productividad fueron observadas en los tipos vegetacionales áridos y sub-áridos, asociados al desierto de Atacama en el norte de Chile y en la región del Chaco, como también en la región Patagónica a lo largo de Argentina (Figura 14c). Sin embargo, las áreas de Chile asociadas a bosque sub-ártico y templado y la superficie agrícola de Chile ubicadas por debajo de los 35° de latitud, mostraron tendencias positivas en la productividad durante los últimos 30 años (Figura 14c).

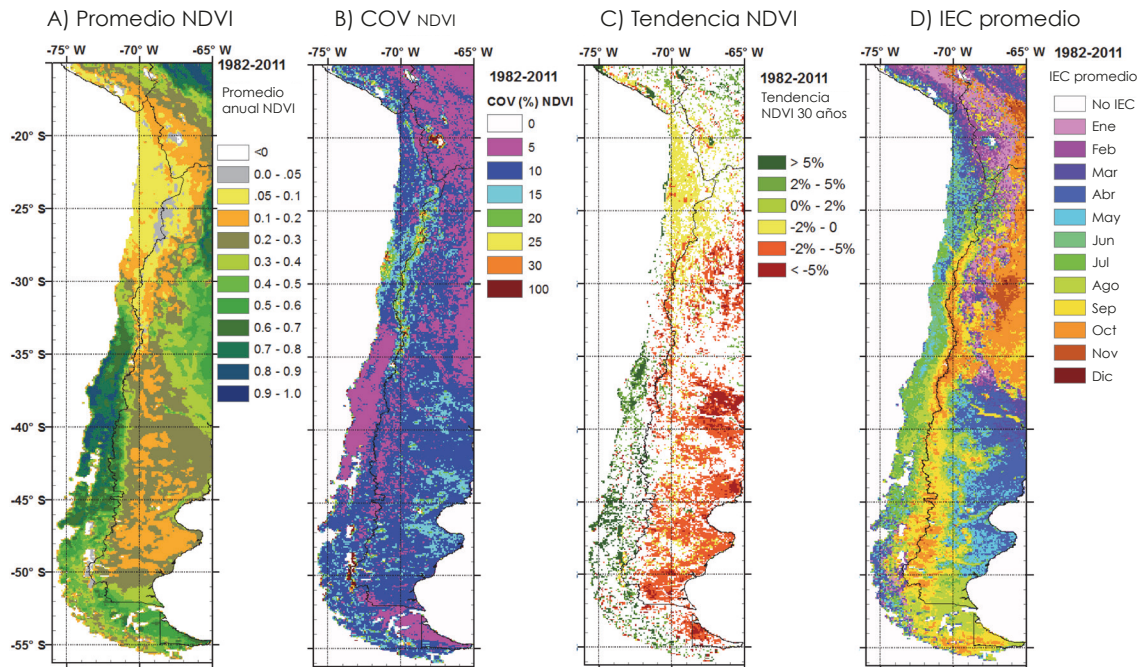


Figura 14. Patrones espaciales de (a) el promedio del Índice Vegetacional de Diferencia Normalizada (NDVI); (b) la variabilidad interanual de NDVI representado por el coeficiente de variación; (c) las tendencias de regresión lineal significativa para NDVI; y (d) el inicio promedio de la estación de crecimiento para el periodo 1982-2011.

## *Fenología de la superficie terrestre*

Variables asociadas a la estacionalidad, relacionadas con actividad vegetativa superficial basada en NDVI, tales como el inicio de la estación de crecimiento (IEC) y el largo de la estación de crecimiento (LEC), fueron obtenidas mediante el uso de una ventana móvil y un algoritmo de ajuste. En el caso del IEC se observa una gran variabilidad en el periodo de 30 años. Los valores promedio de IEC se muestran en la figura 14d, presentando grandes diferencias a lo largo de los gradientes latitudinales y de elevación. Algunas áreas mostraron tendencias significativas en IEC y LEC, las que se muestran en las figuras 15a y 15b. Valores de IEC de temporada más tardíos generalmente coinciden con tendencias anuales negativas en NDVI y productividad reducida. Algunas localidades en el sur de Chile (bosque sub-antártico) y Argentina (estepa patagónica), presentan estaciones de crecimiento más largas, mientras que menores valores se observan para algunas áreas de menor magnitud en Chile central. IEC y LEC pueden cambiar desde uno a varios meses en algunas de estas áreas, probablemente debido a cambios en el uso de suelo o a cambio climático, o bien a un cambio conjunto de ambos.

## *Impactos de Indicadores Climáticos*

En algunas áreas, el Indicador estacional multivariado ENSO (IME) y el Índice de Oscilación Antártica (IOA) tienen un impacto significativo en el valor promedio de NDVI/productividad vegetativa (Figura 15c y 15d). En el matorral de Chile central, el IME observado en invierno muestra una asociación positiva con la productividad, mientras que esta misma se ve afectada negativamente por los valores de IOA de invierno. El IME también tiene un impacto positivo sobre el extremo sur de Argentina. El IOA tiene un impacto positivo sobre algunas de las áreas del extremo sur de Chile asociadas a bosques templados y sub-antárticos. Esto último está probablemente relacionado a aumentos en la temperatura, dado que es poco probable que el agua sea el factor limitante en esta región.

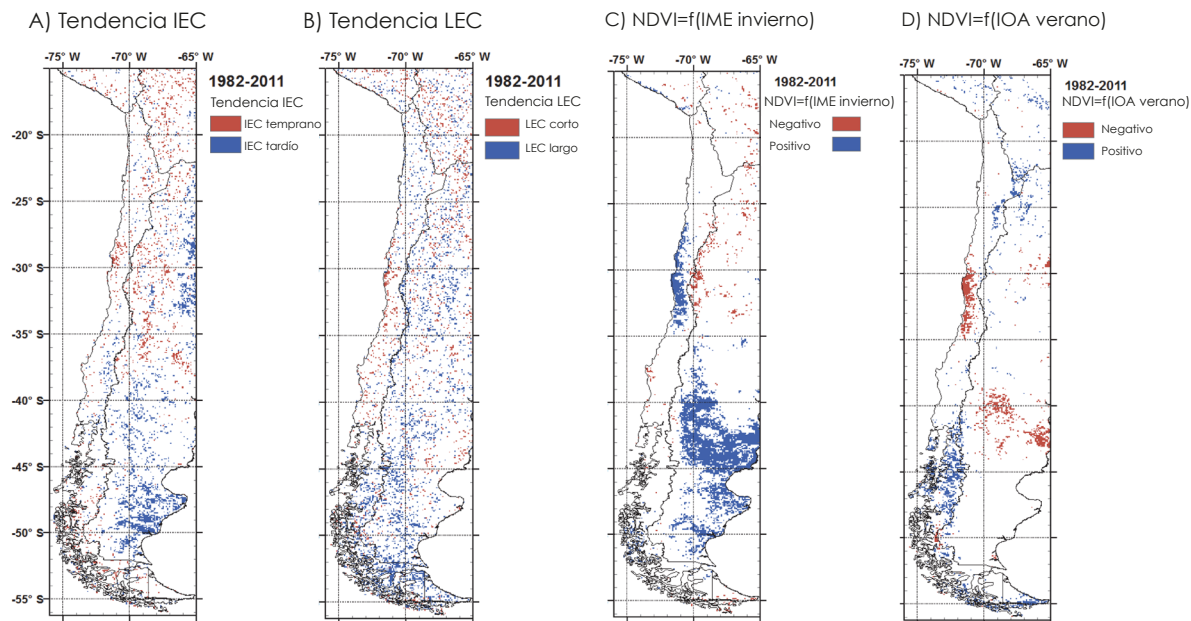


Figura 15. Patrones de tendencia de distribución espacial en (a) el inicio de la estación de crecimiento (IEC); y (b) largo de la estación de crecimiento (LEC). Las relaciones significativas entre NDVI/ productividad vegetativa anual y el Indicador de ENSO Multivariado (IEM) y el Índice de Oscilación Antártico (IOA) se muestran en (c) y (d) respectivamente.

## Un método para estimar temperaturas mínimas y máximas mediante el uso de imágenes MODIS: aplicación en la cuenca del río Maipo

La temperatura del aire es una de las variables más relevantes a ser considerada en estudios ambientales<sup>9</sup>. A escala de ecosistemas, su influencia es determinante en la distribución de especies vegetales<sup>10</sup>, y afecta la dinámica del sistema suelo-planta-atmósfera<sup>11</sup>, siendo incluida en modelos de evapotranspiración (Allen et al. 2006<sup>12</sup>; Carlson et al. 1995<sup>13</sup>) como también en modelos hidrológicos (Purkey et al. 2007<sup>14</sup>). A pesar de su relevancia y la simplicidad de los métodos de medición disponibles, el monitoreo actual de la temperatura del aire es bastante limitado, y las bases de datos asociadas no siempre cuentan con la resolución temporal y espacial deseada para la realización de diversos análisis ambientales de alto detalle.

Con el apoyo del proyecto CORFO-CCG, se llevó a cabo una investigación enfocada a evaluar el uso de imágenes satelitales como opción para la estimación de temperaturas extremas diarias, aplicando esta investigación a la cuenca del río Maipo.

La investigación utilizó información del sensor Aqua-MODIS. Se usó un análisis de la distribución de los píxeles para el índice vegetacional de diferencias normalizadas (NDVI) y la temperatura superficial. La metodología selecciona la temperatura de superficie de aquellos píxeles que presentan los mayores valores entre NDVI para toda el área de estudio en las fechas seleccionadas, siendo luego interpoladas para toda el área de la cuenca del río Maipo bajo los 2000 metros de altura (Figura 16).

<sup>9</sup> Geiger R (1965) The Climate Near the Ground. Cambridge, Mass 611.

<sup>10</sup> Cabrera HM (2002) Respuestas ecofisiológicas de plantas en ecosistemas de zonas con clima mediterráneo y ambientes de altamontaña. Rev Chil Hist Nat 75:625–637.

<sup>11</sup> Chartzoulakis K, Psarras G (2005) Global change effects on crop photosynthesis and production in Mediterranean: the case of Crete, Greece. Agr Ecosyst Environ 106:147–157.

<sup>12</sup> Allen RG, Pereira L, Raes D, Smith M (2006) Crop Evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage, vol. 56. FAO, Rome.

<sup>13</sup> Carlson TN, Capehart WJ, Gillies RR (1995) A new look at the simplified method for remote sensing of daily evapotranspiration. Remote Sens Environ 54:161–167.

<sup>14</sup> Purkey DR, Joyce B, Vicuna S, et al. (2007) Robust analysis of future climate change impacts on water for agriculture and other sectors: a case study in the Sacramento Valley. Climatic Change 87:109–122.

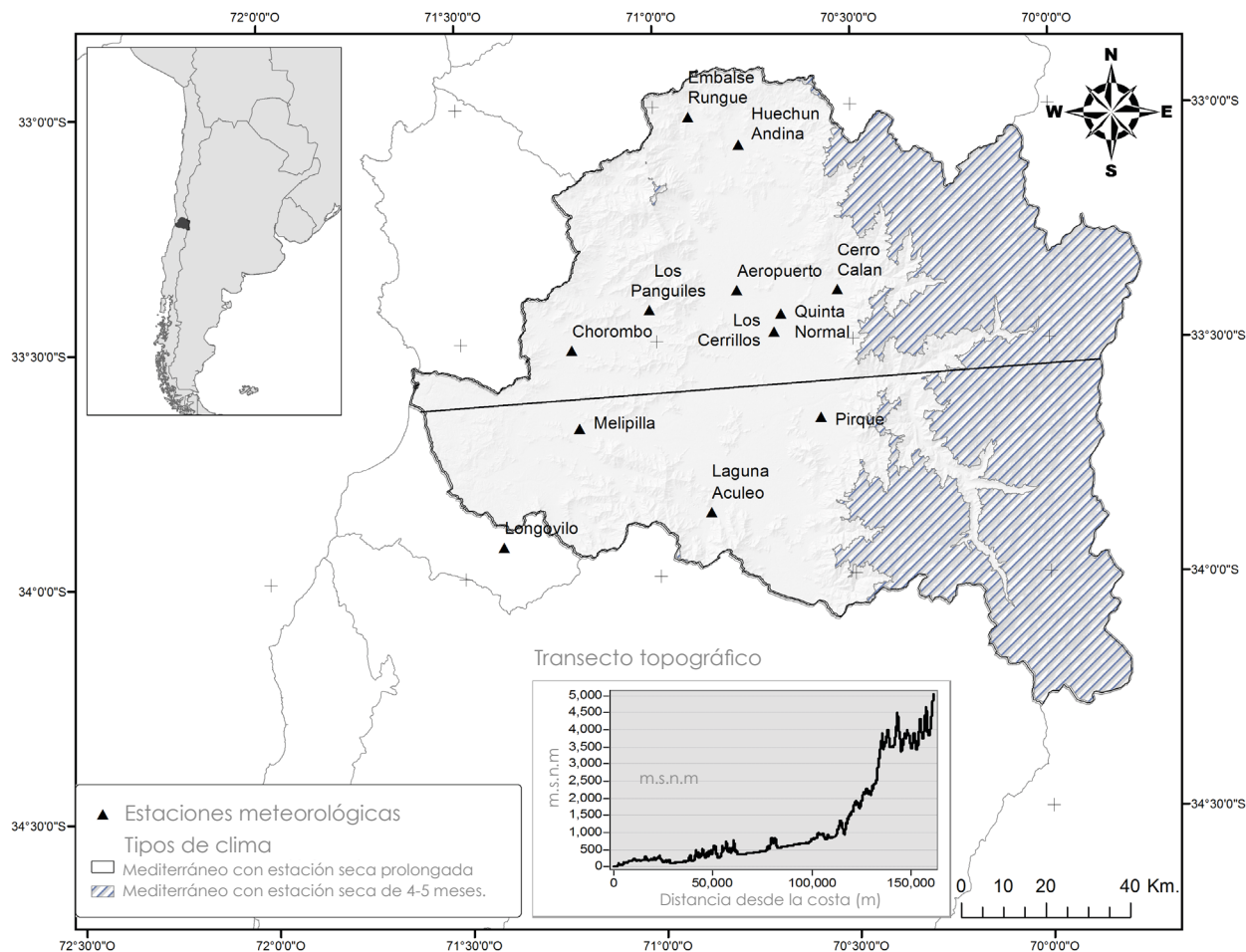


Figura 16. Área de estudio y distribución especial de estaciones meteorológicas. Se presenta además el perfil altitudinal y la distribución de climas de la región.



Las estimaciones fueron comparadas con los valores observados en 12 estaciones meteorológicas distribuidas en toda el área. Para las temperaturas máximas, el método presenta una sobreestimación de aproximadamente 2°C. Después de una corrección de este sesgo, las estimaciones no fueron significativamente distintas de los valores observados.

La estimación de la temperatura mínima requirió una corrección dado el desfase entre el horario de pasada del satélite y el horario de ocurrencia de las temperaturas mínimas en el área de estudio. Después de ajustar los valores, la mayoría de las estaciones muestran estimaciones que no poseen diferencias estadísticas comparadas con los valores observados.

Los resultados muestran una correcta representación de la distribución espacial y temporal de las temperaturas máximas y mínimas (Figuras 17 y 18) para todas las coberturas, con la excepción de las áreas urbanas, principalmente para la estimación de la temperatura mínima, donde se presenta el efecto de isla de calor.

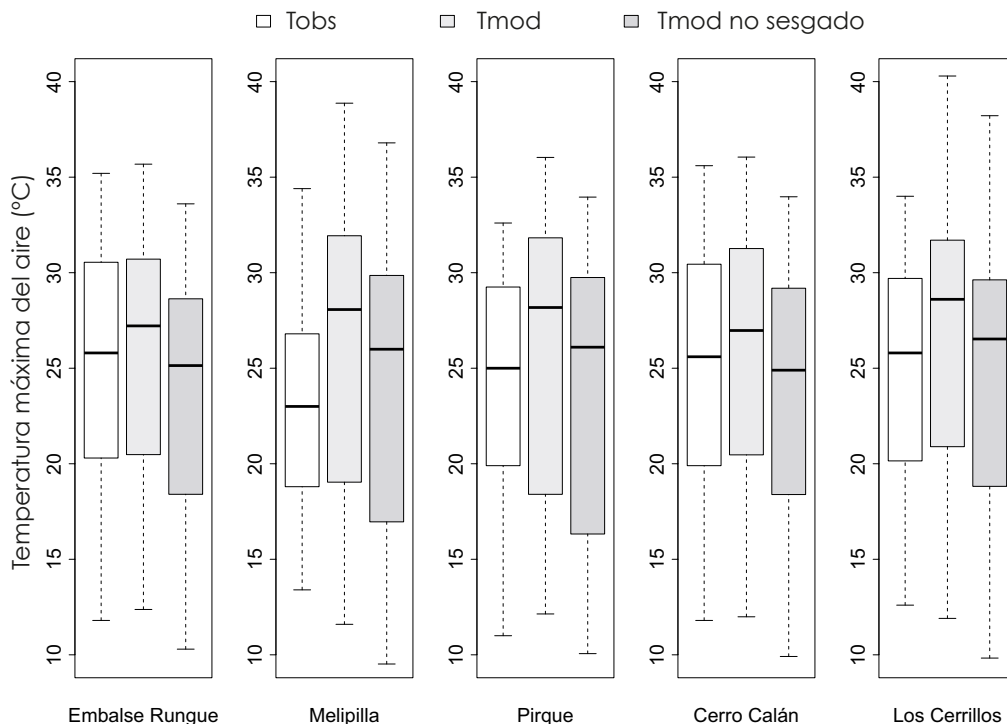


Figura 17. Distribución de valores observados, estimaciones sesgadas y no sesgadas de temperaturas máximas. La línea horizontal en cada cuadro representa la mediana de un set de datos.

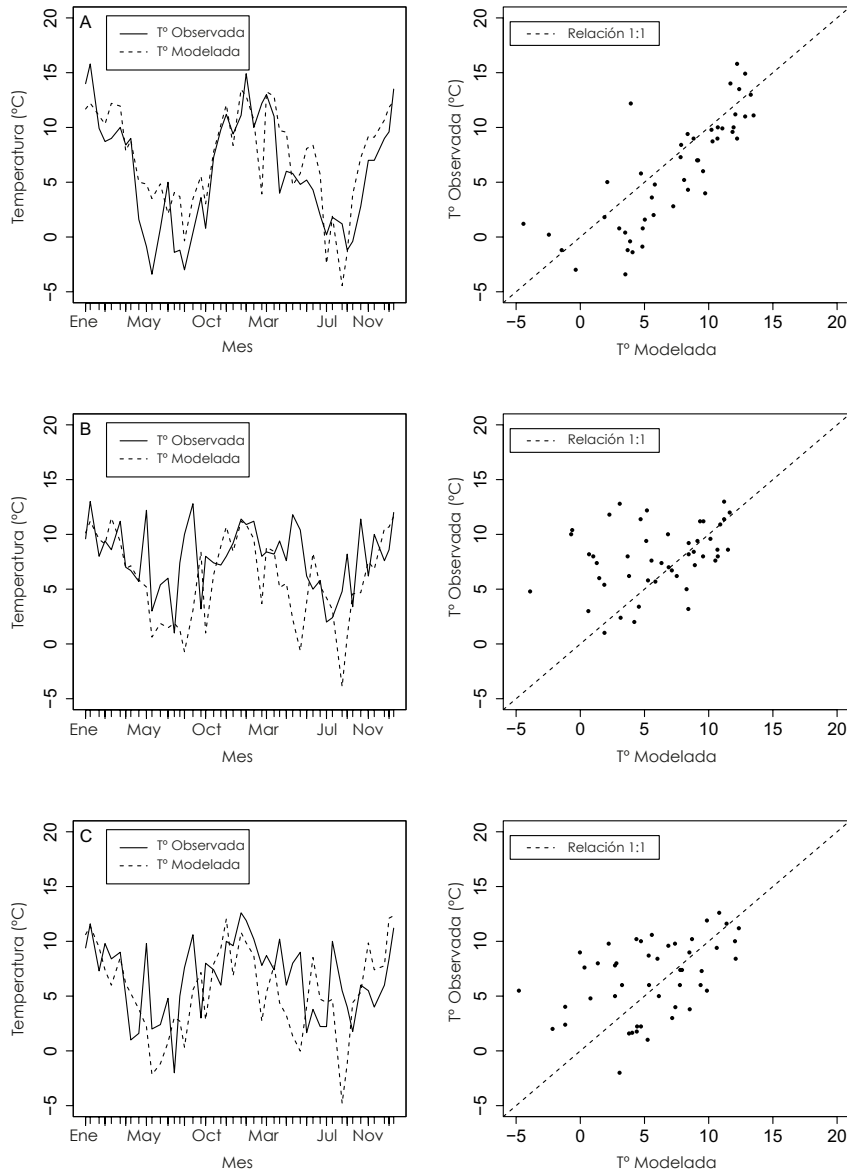


Figura 18. Distribución temporal de la temperatura máxima del aire y dispersión estimada y observada para la temperatura en 3 estaciones meteorológicas. (A) Rungue Embalse, (B) Melipilla and (C) Pirque. La línea 1:1 muestra la dispersión para cada set de datos.

Después de obtener mapas de temperatura para toda el área considerada, se realizó una interpolación temporal para obtener temperaturas diarias en todo el periodo, las cuales fueron utilizadas para determinar la acumulación de Grados-Día para la temporada agrícola de invierno 2004 y verano 2005 (Figura 19). Los resultados fueron consistentes con los valores observados en la cuenca.

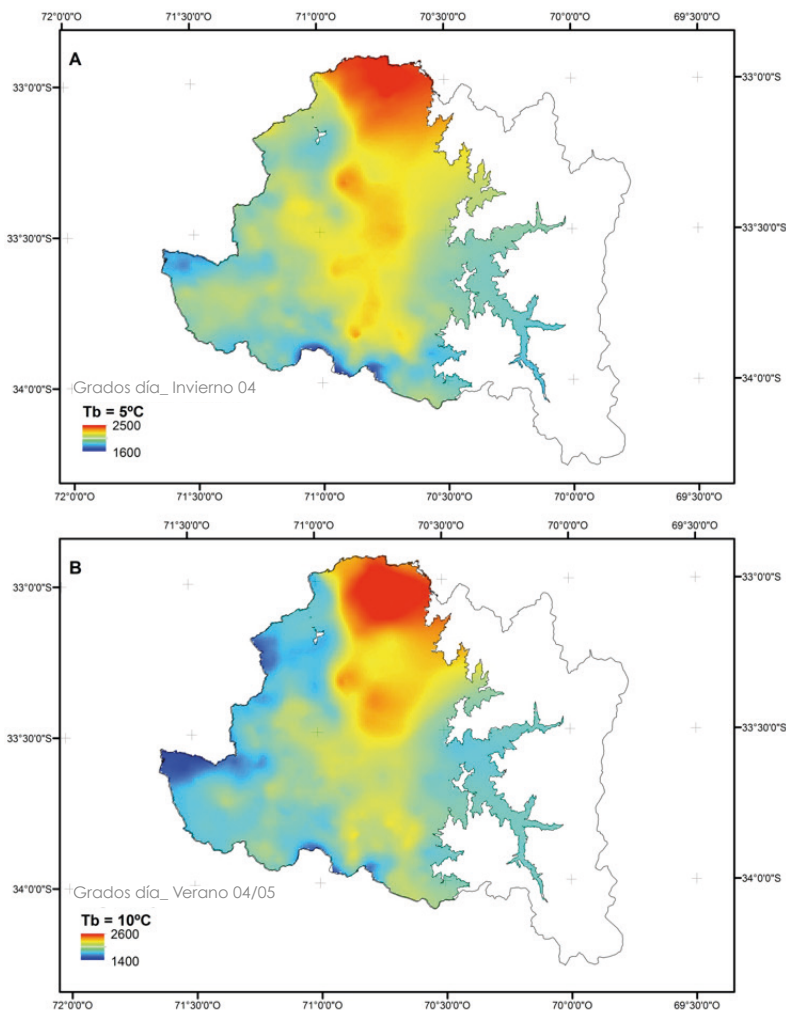


Figure 19. Temperaturas del aire máximas y mínimas estimadas para enero y julio para la cuenca del río Maipo.

## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN GESTIÓN DEL CARBONO

La emisión de GEI en Chile, especialmente de CO<sub>2</sub> ha crecido de manera importante en las últimas décadas fuertemente asociado al proceso de desarrollo económico del país. Este incremento ha estado fuertemente ligado al aumento en el consumo de energía de los subsectores de generación de electricidad, transporte e industria y minería<sup>15</sup>. Este aumento ha sido compensado en parte por una captura neta de carbono producto del aumento de plantaciones forestales que ocurrió también en el mismo periodo. Esta situación convierte a Chile en un ejemplo atípico dentro de la región donde las elevadas tasas de deforestación implican emisiones netas de carbono a la atmósfera. El proyecto CORFO-CCG apoyó la generación de conocimiento con respecto a la gestión del carbono en Chile a través de dos líneas de investigación. Una enfocada a entender la dinámica de captura de carbono desde el sector silvoagropecuario con especial énfasis en generar capacidades para poder modelar los procesos asociados al cambio de uso de suelo. La otra línea de trabajo significó participar en un proyecto colaborativo internacional en el que se estudiaron los desafíos de implementación de un sistema de permisos de emisión transables de carbono en Chile.

### Secuestro de carbono en el GEI en el sector silvoagropecuario

Gracias a las capacidades generadas en el proyecto CORFO-CCG, que permitieron establecer protocolos de trabajo y seleccionar metodologías para el análisis de captura de carbono en sistemas forestales, se pudo llevar a cabo un estudio del potencial de mitigación que tiene el sector silvoagropecuario para mitigar y evitar emisiones de GEI. El sector silvoagropecuario tiene un gran potencial para mitigar emisiones de GEI. Por una parte el sector forestal tiene la capacidad de secuestrar una gran cantidad de CO<sub>2</sub> mediante la forestación de áreas descubiertas o degradadas o bien mediante la recuperación y enriquecimiento de áreas donde la vegetación ha sido intervenida y está en proceso de degradación. Asimismo en el sector agropecuario tiene potencial para disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la aplicación de fertilizantes nitrogenados y/o disminuir las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) provenientes de fermentación entérica.

Un estudio desarrollado por CCG-UC, (2010<sup>16</sup>) evaluó el potencial de mitigación que tiene el sector silvoagropecuario para mitigar y evitar emisiones de GEI en 4 subsectores; (i) forestal, (ii) cultivos anuales y permanentes, (iii) suelos, y (iv) ganadería. En cada uno de estos subsectores se analizaron opciones de mitigación para evitar o disminuir las principales emisiones de GEI asociadas

<sup>15</sup> Ministerio del Medio Ambiente (MMA), 2011. Segunda comunicación nacional de Chile ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático.

<sup>16</sup> Análisis de opciones futura de mitigación de GEI para Chile asociadas a programa de fomento en el sector silvoagropecuario. Proyecto realizado para la Comisión Nacional de Medio Ambiente de Chile.

a la actividad productiva dominante dentro del subsector. Para los subsectores forestal y de suelos se identificaron medidas relacionadas con programas de fomento productivo o de subsidios vigentes el momento del estudio, en particular el Programa de Recuperación de Suelos Degradados (PRSD) y la ley de Fomento Forestal (conocido como DL-701). El análisis del potencial de mitigación de los diferentes subsectores demuestra que el sector forestal es el que tiene el mayor potencial de mitigación y que cada tonelada de CO<sub>2</sub> mitigada es más costo-eficiente que en el resto de los subsectores. El potencial de mitigación proyectado al año 2050 que es entre 5-10 veces mayor que cada uno de los otros subsectores, con una tasa anual esperada de secuestro de 1500 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes (t CO<sub>2</sub>e). Asimismo el costo por t CO<sub>2</sub>e para el sector forestal es de cerca de 7000 (t CO<sub>2</sub>e/año) que es cerca de 5-50 veces menor que lo que se puede hacer en el resto de los subsectores. El sector forestal tiene el potencial de secuestrar anualmente un promedio de 2,9 millones de t CO<sub>2</sub>e al año 2020 y de 1,6 millones de t CO<sub>2</sub>e al año 2050 a un costo promedio de entre \$4800 - \$7000 (t CO<sub>2</sub>e/año).

Una de las variables claves para poder seguir desarrollando análisis más realistas con respecto al potencial de mitigación del sector silvoagropecuario se asocia a la capacidad de poder modelar el posible cambio de uso de suelo (CUS) bajo distintos escenarios. Las evaluaciones de emisiones futuras de GEI hechas hasta la fecha carecen en general de estimaciones para esta fuente en particular, principalmente por la complejidad subyacente en la predicción de este tipo de fenómenos. Para predecir cambios en el uso del suelo se usan modelos (modelos de CUS), que son herramientas que permiten analizar las causas y consecuencias del cambio de uso y comprender mejor el funcionamiento del sistema, para describir la dinámica de CUS, y para explorar futuros cambios bajo diferentes escenarios. Una revisión de literatura de estos modelos hecha en el marco del proyecto CORFO-CCG permite estructurar una simple taxonomía de modelos de CUS que se ilustra en la siguiente figura:

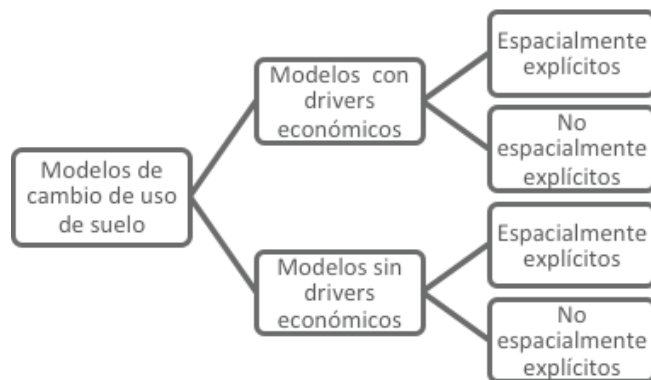


Figura 20. Taxonomía de modelos de cambio de uso de suelo (CUS).

Los modelos que utilizan drivers económicos asumen que el motor de cambio es un agente (propietario, administrador, decisor) que toma las decisiones y bajo esta condición, las teorías económicas son utilizadas para guiar el desarrollo del modelo, lo que permite considerar el comportamiento de los propietarios frente a distintas variables. Esto permite proyectar el cambio de uso de suelo bajo distintos escenarios políticos, climáticos, etc. Los modelos que no utilizan drivers económicos se basan en el uso de variables físicas, que representan los procesos sociales y los resultados económicos observados a lo largo del tiempo, para proyectar futuros cambios de uso de suelo sin basarse en las teorías económicas para guiar estos cambios.

En el caso de Chile, no se encontraron referencias a modelos de CUS usados ni adaptados a la realidad nacional, que permitan entregar estimaciones de este fenómeno en el futuro, estimaciones de CUS que permitirían calcular las emisiones de GEI asociadas a esta fuente en particular. Existe una importante necesidad de desarrollo de investigación en este campo para poder generar adecuadas estimaciones del potencial de mitigación y costos asociados en el sector.

### **Hoja de Ruta para implementar un Sistema de Permisos de Emisión Transable para Gases de Efecto Invernadero en Chile: Opciones de Diseño y Consideraciones para la Toma de Decisiones de Política Pública.**

Este estudio fue realizado por solicitud del Banco Mundial en el marco del desarrollo de propuestas para incorporar sistemas de mercado para la mitigación de emisiones de GEI en Chile. El trabajo fue desarrollado dentro de un Consorcio, liderado por la empresa consultora Motu de Nueva Zelanda (**Motu Economic and Public Policy Research**), y en el que participaron otras instituciones de Estados Unidos y el Reino Unido. El CCG-UC con apoyo del proyecto CORFO-CCG cumplió un rol liderando el Capítulo 7 Necesidades de Investigación para la implementación de un Sistema de Permisos de Emisión Transables (SPET), además de proveer el contexto nacional y revisar el resto de los capítulos liderados por otras instituciones.

El reporte generado, representa un primer paso, que busca clarificar como un SPET podría funcionar en Chile y los impactos a nivel ambiental, económico y social, proveyendo información clave al Gobierno de Chile para determinar si un SPET es deseable para Chile, además de cuál sería su diseño óptimo para alcanzar y priorizar los objetivos de política pública propios de las circunstancias particulares de Chile.

El reporte generado se sustentó en un análisis profundo de la realidad chilena, donde destaca el estudio de los sectores y las características de los actores prospectos a ser considerados en un SPET. El resultado más interesante tiene que ver con un análisis del ciclo de vida del carbono en el sector energía en Chile, el cual permite ver a cada nivel, cuales son los sectores

más relevantes y factibles de regular, en el marco de la creación de un SPET. A continuación se presenta un diagrama de flujo que resume lo anterior.

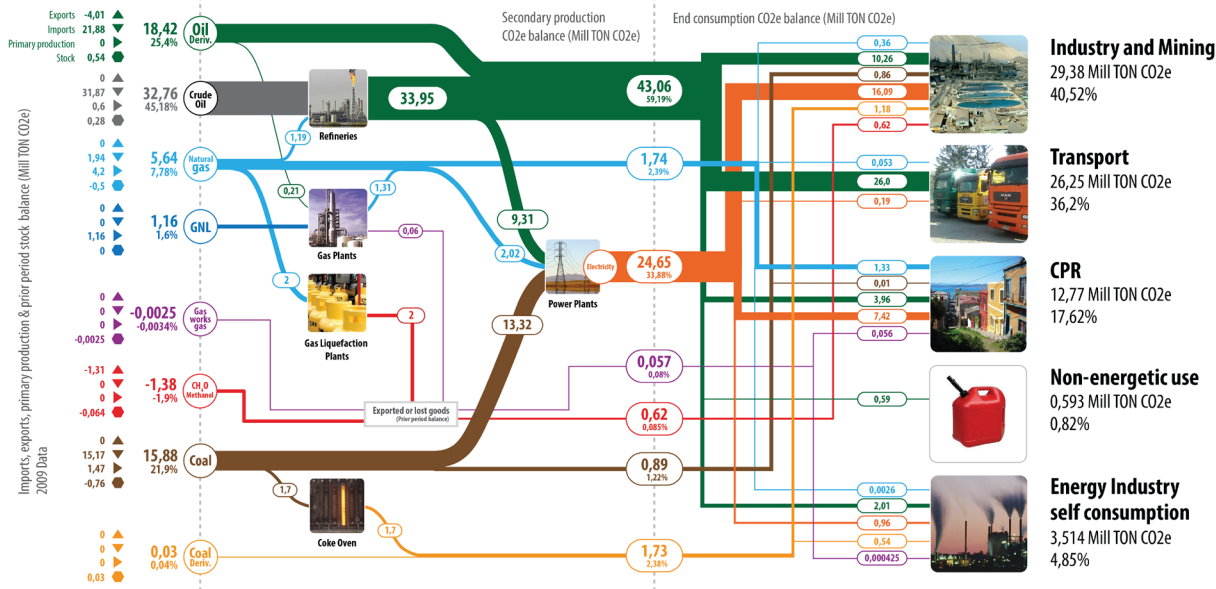


Figura 21. Ciclo del Carbono de las emisiones asociadas al sector Energía en Millones de Ton CO<sub>2</sub>e (Se basa en el Balance Nacional de Energía del 2009<sup>17</sup>)

<sup>17</sup> Elaboración propia en base a Eggleston 2006; CNE 2011.

Se plantea el diseño de un SPET en etapas: 1.- Fase Preparatoria (2-4 años), 2.- Fase de Reporte Temprano (1-3 años), 3.- I Fase de Transición (Precios controlados por el gobierno), 4.- II Fase de Transición (Contención de Precios por el gobierno) y 5.-Apertura Internacional (Sin intervención gubernamental). Se propone una cobertura sectorial (Tabla 1) que considere costos y potenciales de mitigación, mantenga una operación del mercado líquida y efectiva, cuide impactos en la competitividad de sectores vulnerables. Adicionalmente, hace falta estudiar la factibilidad administrativa y costos de transacción del SPET, se debe buscar una distribución equitativa de la carga entre sectores y hace falta un análisis profundo de las interacciones con otras políticas tanto en los sectores cubiertos por el mercado como en otros.

**Tabla 1: Propuesta de cobertura sectorial de un Sistema de Permisos de Emisión Transable y punto de cumplimiento**

Partir con:	Expandir en cuanto sea posible a:
<b>Sector Energía estacionaria y Transporte</b> Cumplimiento en el punto de producción/im- portación del combustible	<b>Sector Residuos</b> Cumplimiento por parte de los propietarios del Relleno Sanitario
<b>Sector Procesos Industriales – Cemento, Cal y Acero</b> Cumplimiento en el punto de emisión	<b>Sector Agropecuario</b> Cumplimiento por parte del propietario
<b>Sector Forestal</b> Cumplimiento por parte de los propietarios de la tierra	<b>Sector Otros Procesos Industriales</b> Cumplimiento en el punto de emisión

Con respecto a las Necesidades de Investigación, se detectaron importantes brechas, que deben ser solventadas antes de implementar un SPET. Algunas tienen que ver con falta de información base y otras con necesidades de investigación dirigida. Esta información se resume en la Tabla 2.



**Tabla 2: Necesidades de Investigación para implementar un Sistema de Permisos de Emisión Transable**

Información Base	Investigación dirigida
<ul style="list-style-type: none"><li>•Desarrollo Regional en Regulación del cambio climático y SPET</li><li>•Aprendizajes de otros SPET(Implementados y considerados)</li><li>•Aprendizajes de otros mecanismos de Mercado en Chile</li><li>•Interacción entre SPET y otras leyes</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Escala y oportunidades de los costos de mitigación (Especialmente sector Forestal)</li><li>•Distribución económica de los impactos de las distintas alternativas de diseño del ETS</li><li>•Otras Barreras (no de precio) a la Mitigación</li><li>•Estructura de Mercado por sector, transferencia de precio y respuesta</li><li>•Escenarios globales del Mercado de carbono</li><li>•Identificar productores intensivos en emisiones y vulnerables, impactos en la competitividad y potencial de fuga de emisiones.</li><li>•Activos inmovilizados claves y mecanismos para solucionarlos</li><li>•Análisis Costo-Beneficio</li></ul>

Los siguientes pasos para desarrollar un SPET, debieran centrar sus esfuerzos en permitir al Gobierno de Chile tomar una decisión informada sobre si proceder con un SPET y de ser este el caso el diseño específico de este. Esto debe incluir la eliminación de brechas técnicas de conocimiento, construir entendimiento y apoyo público para la estrategia para el cambio climático elegida y el rol potencial que jugaría un SPET, por último tomar acciones “sin arrepentimiento” para construir capacidad técnica, institucional y organizacional para implementar un SPET.

## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN CIUDADES Y CAMBIO GLOBAL

El debate sobre cambio global – mitigación y adaptación – ha tenido un fuerte énfasis en los aspectos de procesos naturales (meteorología, hidrología, entre otros) pero gran parte de la discusión sobre los cambios urbanos frente a ese fenómeno se encuentran menos desarrollados. Es solamente durante los últimos cinco años que ha habido respuestas más claras a nivel urbano en distintas partes del mundo, como por ejemplo a través de la formulación de planes de cambio climático. En este sentido, es evidente que la agenda de adaptación urbana va de la mano con otras agendas de más largo aliento, tales como la gestión de riesgo y estrategias de desarrollo.

Con más de la mitad de la población mundial habitando en centros urbanos desde el principio de este siglo, el desafío en entender los procesos urbanos y su relación con el cambio climático toma mayor relevancia. Las relaciones entre estos centros urbanos y la producción agrícola, disponibilidad de agua, generación energética también requieren más investigación y desarrollo. El grupo de trabajo del IPCC asociado al desarrollo de elementos de adaptación ha tomado cada vez más protagonismo dentro las consideraciones del mismo IPCC, como también en los informes y en las reuniones COP. Es parte del reconocimiento de los aspectos socio-políticos y socio-culturales que acompañan el cambio climático.

Las formas de integrar consideraciones de cambio climático en las ciudades se traducen en dos líneas de trabajo: cambios en prácticas asociadas a mayores niveles de educación y conciencia respecto al tema; y la incorporación de estos elementos en instrumentos de planificación sectorial y territorial. Asociado con el primer tema, la traducción de las consideraciones del cambio climático en demandas y requisitos locales ha sido un proceso complejo. Para muchos ciudadanos, estos temas están asociados a procesos planetarios y a emisiones producidas por los países desarrollados, y en rápido desarrollo, como China e India. Sin embargo, cuando se enfatizan elementos de adaptación tales como la identificación de los impactos locales hoy en día y cuál sería su evolución durante el siglo que viene, existe la posibilidad de traducir estas preocupaciones en agendas locales de planificación y acción. En el campo de la educación formal e informal existe la posibilidad de influir en las prácticas de la ciudadanía para enfrentar los cambios de largo plazo, como es el caso de la preparación para problemas de escasez de agua, y de corto plazo, como la adaptación para eventos extremos de gran intensidad.

En el ámbito de la planificación a nivel sectorial y a nivel territorial, ha habido poco esfuerzo de incorporar consideraciones relativas al cambio climático. Durante la última década, esta situación ha ido cambiando debido principalmente a los impactos climáticos de alta intensidad. Algunos ejemplos de esto son el Huracán Katrina en Nueva Orleans y Sandy en Nueva York. Por otro lado, procesos de mediano y largo plazo que generan problemas de suministro han jugado también un rol relevante, como por ejemplo los eventos de sequía que ha sufrido el sur de Australia durante los últimos años y que ha afectado la ciudad de Adelaida en forma dramática. A nivel sectorial,

acciones asociadas con asegurar el suministro de agua para riego y la población urbana ha ido generando mayor urgencia, así también la protección ante alzas en el nivel de mar, como en el caso de Ho Chi Min City, asociadas con la intensidad de tormentas. Sin embargo, es a nivel territorial donde se busca mayor integración entre los diversos desafíos de la adaptación a los impactos del cambio climático, así como también la posibilidad de aprovechar de los benéficos que se puede proveer.

En el caso de Chile, se pueden identificar cambios importantes en estas líneas, que se han iniciado desde la introducción del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático en 2008. No obstante, se puede argumentar que los avances en los ámbitos de los sectores productivos, como los sectores agrícola, forestal y pesquero han sido más rápidos que en los contextos urbanos, sin desentender las relaciones claves entre ellos.

Uno de los grandes logros urbanos durante el periodo del Plan de Acción ha sido el desarrollo del Plan de Adaptación para la Región Metropolitana que fue presentado en el Gabinete Regional en Diciembre 2012, el cual está a la espera de financiamiento para su implementación. Este Plan fue desarrollado durante casi tres años a través del proyecto Clima Adaptación Santiago – financiado por el Ministerio de Medio Ambiente de Alemania, y en asociatividad con el GORE y el Ministerio de Medio Ambiente en Chile. Miembros del proyecto CORFO-CCG participaron activamente en esta iniciativa. Es importante comentar que esta iniciativa generó la creación de un Sub-Comité de Cambio Climático en el CORE, y que estos temas fueron incorporados en la actualización de la Estrategia de Desarrollo Regional (aprobado en Diciembre 2012). Estos trabajos fueron complementados con formación en estos elementos a través del desarrollo de un curso de posgrado en "Ciudades y Cambio Climático", dictado en 2011 y 2012, y con participación en conferencias y seminarios nacionales e internacionales.

En términos de las investigaciones realizadas, se destacan dos. La primera corresponde a una investigación sobre la relación entre los procesos de desarrollo urbano y tres ciudades y las debilidades en los instrumentos de planificación y los procesos de expansión urbana. El caso de Concepción, con su expansión hacia los suelos de área de inundación del río Andalién es un caso emblemático, evidenciado por los anegamientos en el año 2005. En este sentido, se investigaron las consideraciones de justicia socio-ecológica, en términos de la identificación de los grupos sociales 'en mayor riesgo' en relación a los impactos del cambio climático. Esta investigación fue la base para el desarrollo de uno de los capítulos del libro *Urbanization and Sustainability: Linking urban ecology, environmental justice and global environmental change*<sup>18</sup>, cuyas conclusiones apuntan a la persistencia de la vulnerabilidad de ciertos grupos sociales, a través de las debilidades en la generación y desarrollo de los instrumentos de planificación (IPTs,

<sup>18</sup> Boone, C G ; Fragkias, M, 2013. *Urbanization and Sustainability : Linking Urban Ecology, Environmental Justice and Global Environmental Change*. Springer.

ej. PLADECOS, Planes Reguladores, Estrategias de Desarrollo Regional). El caso del poblamiento de las quebradas de Valparaíso es otro caso examinado en el texto.

Otra publicación basada en el proyecto CORFO-CCG (que espera publicación en un número especial sobre cambio climático de la revista alemán Die Erde. 2013) investiga con más precisión los impactos del cambio climático registrados en ciudades metropolitanas de Chile durante los últimos 30 años, y la capacidad de responder a estos eventos mediante los instrumentos de planificación. Es necesaria una revisión de los IPTs para identificar las formas de incorporación de elementos de cambio climático, muy relacionadas con las consideraciones de riesgo ambiental (Artículo 2.1.17 de la Ley de Urbanismo y Construcciones).

A partir de esta investigación se concluye que el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) no ha sido capaz de actualizar IPTs con la celeridad necesaria, careciendo de competencias en el campo de cambio climático, por eso la definición e incorporación de riesgos en los IPTs no sería adecuado para los desafíos que presenta el cambio climático.



## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA (EAE), INSTRUMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA ENFRENTAR EL DESAFÍO DEL CRECIMIENTO FRENTE AL CAMBIO GLOBAL

En la actualidad, el debate en torno al cambio global está caracterizado por la incertidumbre respecto a las complejas relaciones entre los componentes biológicos, físicos y sociales y los impactos involucrados en el sistema climático mundial. Esto representa un gran desafío para el diseño de medidas de adaptación robustas y de planes de mitigación eficientes ya que se requiere de sistemas de apoyo a la toma de decisiones y de herramientas de modelación avanzadas, así como también de profesionales con entrenamiento multidisciplinario en las dimensiones relevantes del cambio climático.

En este contexto, la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), junto con los compromisos internacionales y las nuevas exigencias ambientales relacionadas al comercio mundial, cumple un rol fundamental al orientar las iniciativas gubernamentales hacia una perspectiva de desarrollo sustentable y protección ambiental. Este instrumento de gestión ambiental integra diversos órganos involucrados en la toma de decisiones de manera transversal y tiene como principal objetivo integrar la dimensión ambiental del desarrollo sustentable al proceso de diseño, elaboración e implementación de las políticas y planes de carácter normativo general, de manera que ésta sea integrada en el proceso de toma de decisiones estratégicas. En el marco del proyecto CORFO-CCG se desarrolló una línea de investigación al alero del Instituto de Geografía de la PUC para entender el proceso de desarrollo institucional de la EAE y su potencial uso en relación al cambio global en Chile.

Desde sus orígenes en la base de institucionalización de la EIA en 1969, a través de la primera Acta Nacional de Política Ambiental de Estados Unidos (U.S. National Environmental Policy Act), este instrumento de gestión ha ido evolucionando de forma considerable y permanente hacia la integración de métodos propios de la planificación estratégica y en la ampliación de su alcance desde una perspectiva de cambio global. En las últimas dos décadas, la EAE ha sido adoptada en una serie de países, como Alemania, Canadá y Nueva Zelanda, con una amplia variedad de esquemas conceptuales y enfoques metodológicos, pasando desde una visión ligada a la Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos individuales hasta su estructuración como un proceso de carácter multi y transectorial involucrado en la toma de decisiones estratégicas.

En nuestro país, la EAE fue implementada a través de la Ley N° 20.417 del Ministerio de Medio Ambiente (MMA) en enero de 2010 y metodológicamente es aplicable a las políticas y planes de carácter normativo general, así como sus modificaciones sustanciales, que tengan impacto sobre el medio ambiente o la sustentabilidad. En línea con la experiencia internacional, tiene un enfoque preventivo que consiste en identificar y revisar tempranamente las consecuencias de las decisiones antes de que ellas sean ejecutadas con el fin de reducir las dificultades para establecer sus efectos y posibles impactos ambientales.

La experiencia oficial en torno al tema es muy reciente. Uno de los casos más relevantes fue el desarrollado en torno al proyecto de “Apoyo a la Evaluación Ambiental Estratégica en Chile”, iniciado en 2009 bajo el amparo del Convenio de financiación entre la Comunidad Europea y el Gobierno de Chile<sup>19</sup>. Al alero de esta iniciativa se realizaron tres ejercicios de aplicación, el Plan Regional de Desarrollo Urbano (PRDU) de Aysén, el Plan Regional de Infraestructura y Gestión de Recursos Hídricos (PRIGRH) de la Región de Magallanes y Antártica Chilena y el Plan Ciudad Modelo de Transporte (PCMT) de Antofagasta, entre 2011 y marzo de 2012<sup>20</sup>. Esta experiencia tuvo una gran importancia estratégica para la validación de la EAE como instrumento de gestión ambiental en nuestro país, ya que a través de ellos se pudo obtener valiosa información para la implementación práctica, el diseño metodológico y procedimental de ella y permitió demostrar concretamente su valor y aplicabilidad.

En paralelo a estas iniciativas piloto, a partir del año 2011 se comenzaron a recepcionar casos reales. Todos ellos se encuentran disponibles en un registro público que puede desplegarse en la web oficial que el MMA ha dispuesto para ello <sup>21</sup>. Según la información publicada en este portal, a la fecha ya se registran 57 procedimientos oficiales asociados a los títulos III y IV del reglamento de EAE en Chile, instrumentos de planificación territorial y zonificación del borde costero respectivamente. Estos procesos involucran a 13 regiones y a 86 territorios comunales de nuestro país. 48 de ellos corresponden a Planes Reguladores Comunales (PRC) y Planes Seccionales (84%), 4 a Planes Reguladores Intercomunales (PRI) o Metropolitanos (7%), 1 a Planes Regionales de Ordenamiento Territorial (PROT) (2%) y 4 a procesos de Zonificación del Borde Costero (ZBC) (7%). Ninguna región ha impulsado procesos asociados a políticas y planes de carácter normativo general ni de manejo integrado de cuencas. La distribución espacial de los procesos tampoco es homogénea en cuanto a tipos y cantidad total a escala regional. Esta situación puede observarse en la Figura 22 y 23.

<sup>19</sup> Convenio DCIALA/2007/019014/CL aprobado por el Decreto Supremo N° 206, de octubre de 2008.

<sup>20</sup> Ministerio de Medio Ambiente, Chile. (2012). Experiencias pilotos de Evaluación Ambiental Estratégica en Chile. Un programa de la Cooperación Unión Europea - Chile. Santiago de Chile.

<sup>21</sup> Disponible en <http://eae.mma.gob.cl>

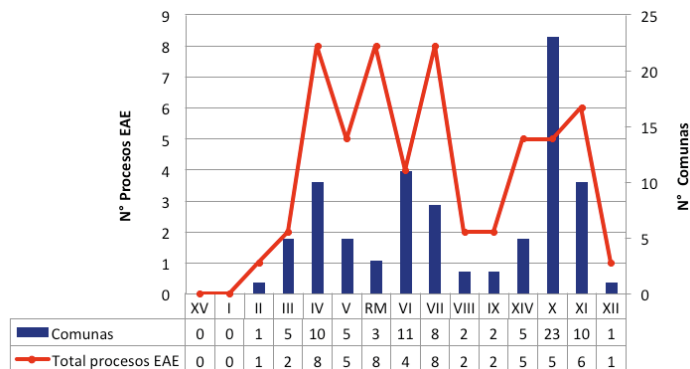
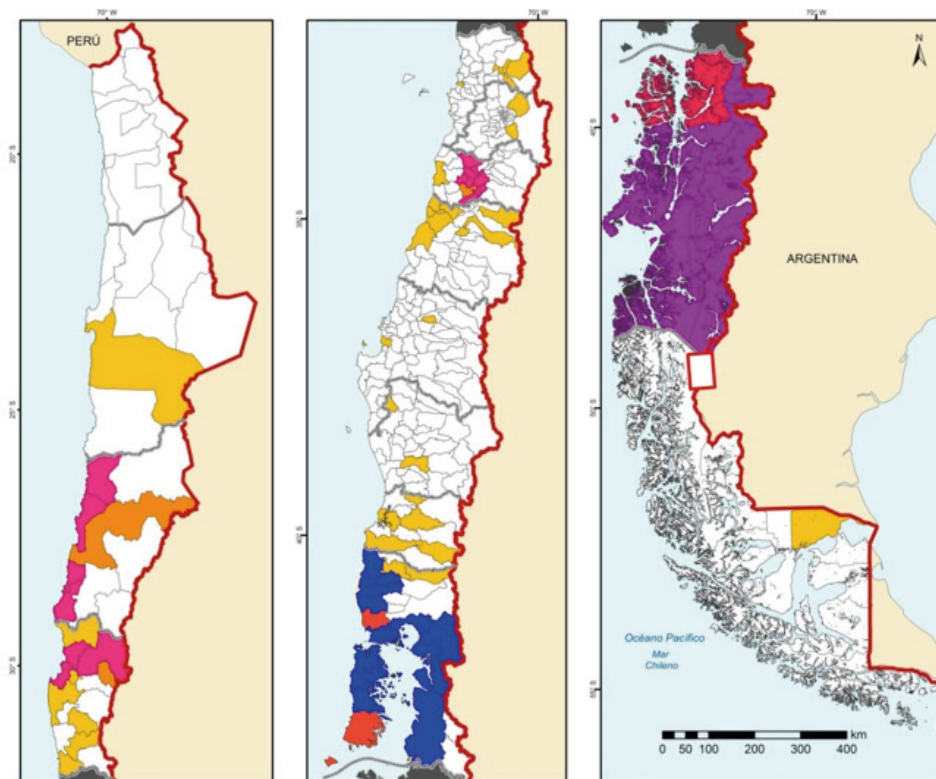


Figura 22. Relación entre el total de procesos EAE y el número de territorios comunales involucrados por región periodo 2011 – 2012 (Fuente: Elaboración propia a partir de la información disponible en el canal de la EAE en el sitio web del MMA <sup>22</sup>)

<sup>22</sup> <http://www.mma.gob.cl/eae/1315/w3-channel.html>





<b>EXPERIENCIA NACIONAL EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA PERIODO 2011 - 2012</b>		PROYECTO CORFO INNOVA 09-CN14-5704  "Fortalecimiento de capacidades para enfrentar los desafíos del Cambio Global en Chile"
<b>SIMBOLOGÍA</b>		FUENTE INFORMACIÓN Catastro público EAE, MMA, 2012  REFERENCIA CARTOGRÁFICA Proyección UTM, Huso 19  SISTEMA DE REFERENCIA SIRGAS
<b>INSTRUMENTOS SOMETIDOS A EAE</b> Sin procesos EAE PRC PRC + PRI PRC + ZBC PRC + ZBC + PROT PRI PROT ZBC		<b>LÍMITES ADMINISTRATIVOS</b> Límite Internacional Límite Regional Límite Comunal Acuerdo 1998

Figura 23. Tipos de procesos EAE a nivel comunal



Otro aspecto que destaca es el alto nivel de reprobación observado en los informes ambientales recepcionados (87,5% en el caso de los Planes Reguladores Comunales y del 100% en el caso de Planes Reguladores Intercomunales y procesos de Zonificación del Borde Costero). Incluso en las entregas posteriores (segundo y tercer informe ambiental) se observa un alto porcentaje de reprobación. Esta situación plantea una eventual falta de claridad de los instructivos proporcionados por la autoridad y de poca experiencia de los ejecutores de estos informes. A la fecha, no existe una base metodológica oficial establecida para medir y cuantificar los impactos ambientales, ni menos para incluir las nociones de sustentabilidad dentro de los procesos de EAE.

En base a lo anterior, queda claro que la EAE aún tiene mucho camino que recorrer en nuestro país. Para mejorar la aplicación de la EAE, lo primero es publicar el reglamento oficial corregido tras la ronda de observaciones que se realizaron durante el proceso de consulta pública durante en agosto de 2012. Asimismo, resulta fundamental identificar las falencias del sistema para mejorar la forma en que esta herramienta está siendo abordada por los respectivos organismos sectoriales. A pesar de los valiosos esfuerzos que se han realizado, tanto en la aplicación de la EAE sobre casos piloto como la ronda de capacitaciones, aún existe desconocimiento y faltan capacidades técnicas para superar correctamente esta fase de evaluación.

De la experiencia internacional se desprende que la EAE adquiere valor sólo si logra influir en la planificación y desarrollo futuro de las decisiones humanas. Su efectividad depende de un proceso que se adapte y sea continuo en el tiempo, concentrado en fortalecer las instituciones, la gobernabilidad y los procesos decisorios, más que de un enfoque simple centrado en impactos y en la obtención de una licencia bajo un procedimiento de aprobación <sup>23</sup>. Por lo tanto, Chile tiene una gran tarea pendiente en un escenario de cambio global.

<sup>23</sup> Comisión Nacional de Medio Ambiente CONAMA, Centro de Estudios para el Desarrollo CED. (2010). Consultoría "Marco conceptual para la implementación de la EAE en Chile". Santiago.

## PUBLICACIONES CIENTÍFICAS

Las líneas de investigación descritas en la sección anterior permitieron el desarrollo de 9 publicaciones científicas. En la siguiente tabla se identifican información en relación a estas publicaciones.

Tabla 3. Publicaciones científicas asociadas al desarrollo de investigación del proyecto CORFO-CCG.

Título	Estado	Revista	Autores	Año
Using a gridded global data set to characterize regional hydroclimate in central Chile	Publicado	Journal of Hydrometeorology	E.M.C. Demaria , E. Maurer , J. Sheffield, E. Bustos, D. Poblete, S. Vicuña, F. Meza.	2012
Climate change and water conflicts in snow dominated basins: The case of central Chile. Part 1: Assessing sensitivity of water demands and coverage in the urban and rural sectors.	En revisión	Journal of Water and Climate Change	F Meza, S Vicuña, M Jelinek, E Bustos, S Bonelli	2013
Climate change and water conflicts in snow dominated basins: The case of central Chile.Part 2: Incorporating climate change adaptation strategies in urban water supply planning	En revisión	Journal of Water and Climate Change	S Bonelli, S Vicuña, F Meza, J Gironás, J Barton	2013
A method to estimate maximum and minimum air temperature using MODIS surface temperature and vegetation data: Application to the Maipo basin, Chile.	En revisión	Theoretical and Applied Climatology	E Bustos, F Meza	2013
Mediterranean savanna of Acacia caven (Mol) is still a sink of CO2 spite severe hydrological drought conditions.	En revisión	Rangeland Ecology and Management	F Bravo, F Meza, P Serrano-Ortiz, A Kowalski	2013

Título	Estado	Revista	Autores	Año
Unbiased land cover classification using support vector machine and Landsat imagery in the Maipo river basin (Central Chile, 1975- 2010)	En revisión	Remote Sensing of Environment	O Puertas, A Brening, F Meza.	2013
Climate change impacts on an alpine watershed in Chile: do new model projections change the story? (2013), Under review Journal of Hydrology.	En revisión	Journal of Hydrology	E M C Demaria, E Maurer, S Vicuña, F Meza.	2013
Exploring possible connections between hydrologic extreme events and climate change in central south Chile	Aceptado	Hydrologis Science Journal	S Vicuña, J Gironás, F Meza, M L Cruzat, M Jelinek, E Bustos, D Poblete, N Bambach	2013
Trends and ENSO/AAO Driven Variability in NDVI Derived Productivity and Phenology alongside the Andes Mountains. Remote Sens. 5, no. 3: 1177-1203. doi:10.3390/rs5031177	Publicado	Remote Sensing	W J D van Leeuwen, K Hartfield, M Miranda, F Meza	2013

---

# EQUIPO ACADÉMICO, CAPITAL HUMANO Y VISITAS INTERNACIONALES

---

## EQUIPO ACADÉMICO



**Francisco Meza**

Profesor Titular, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal Pontificia Universidad Católica de Chile  
Director Centro de Cambio Global UC. Director de Proyecto CORFO-CCG.



**Sebastián Vicuña**

Director Ejecutivo Centro de Cambio Global UC, Pontificia Universidad Católica de Chile.  
Gerente de Proyecto CORFO-CCG.



**Eduardo Arellano**

Profesor Asistente, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile.  
Investigador en línea de investigación en gestión del carbono.



**Jonathan Barton**

Profesor Asociado, Instituto de Estudios Urbanos Pontificia Universidad Católica de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile.  
Investigador en línea de investigación en ciudades y cambio global



**Luis Cifuentes**

Profesor Asociado Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.  
Investigador en línea de investigación en gestión del carbono.

### Guillermo Donoso

Profesor Titular, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile.  
Investigador en línea de investigación en modelación hidrológica-recursos hídricos-uso de suelo-energía.



### Horacio Gilabert

Profesor Asistente, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile.  
Investigador en línea de investigación en gestión del carbono.



### James McPhee

Profesor Asistente Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Universidad de Chile.  
Investigador en línea de investigación en modelación hidrológica-recursos hídricos-uso de suelo-energía.



### Marcelo Miranda

Profesor Asistente Adjunto, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile.  
Investigador en línea de investigación en monitoreo ambiental.



### Juan Pablo Montero

Profesor Titular, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Pontificia Universidad Católica de Chile.  
Investigador en línea de investigación en gestión del carbono.



### Pablo Osses

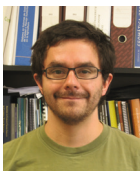
Profesor Asistente, Facultad de Historia, Geografía y Ciencias Políticas, Pontificia Universidad Católica de Chile.  
Investigador en línea de investigación en EAE.



## INSERCIÓN DE CIENTÍFICOS Y FORMACIÓN DE CAPITAL HUMANO

Uno de los objetivos específicos del proyecto fue la inserción de científicos y profesionales, y la formación de capital humano de excelencia (Doctorado y Magíster) con un marcado acento en el pensamiento multidisciplinario, que realicen su investigación en la gestión de los impactos del cambio global sobre los sectores productivos y habilitadores de clúster (medio ambiente, energía y recursos hídricos).

### INVESTIGADORES ASOCIADOS



#### Sebastián Bonelli I.

Ingeniero Agrónomo de la Pontificia Universidad Católica y MSc. en Recursos Naturales. Desde el año 2012 se incorporó como investigador asociado del Centro, asumiendo la asistencia técnica, gestión y coordinación del proyecto CORFO-CCG.



#### Nicolás Borchers

Ingeniero Civil de Industrias de la Pontificia Universidad Católica de Chile. En el marco del proyecto CORFO-CCG, Nicolás participó en la consolidación de modelos hidrológicos y energéticos con el objetivo de estudiar el impacto del cambio climático en la hidrología del país y consecuentemente en la matriz energética.



#### Eduardo Bustos

Ingeniero Agrónomo de la Pontificia Universidad Católica y MSc. en Ciencias de la Agricultura. Desde el año 2010, Eduardo es parte del grupo de investigadores asociados, logro facilitado por el proyecto CORFO-CCG. En el marco de este proyecto ha participado como instructor en los talleres sobre modelación con WEAP.



#### Andrés Pica

Ingeniero Civil Industrial de la Pontificia Universidad Católica de Chile y MSc. in Environmental Engineering del Politecnico di Torino. En el marco del proyecto CORFO-CCG, Andrés participo en un estudio para evaluar las condiciones de Chile y diseñar un Mercado de Carbono, donde se realizó un análisis de la situación actual y una propuesta de pasos a seguir para su implementación en Chile.

### David Poblete

Ingeniero Civil de la Pontificia Universidad Católica, y MSc en Recursos Hídricos de la Universidad de Newcastle. Ingresó al Centro a finales del año 2010, como parte de la asistencia técnica del proyecto CORFO-CCG.



### Camila Ugarte

Licenciada en Geografía y Geógrafa de la Pontificia Universidad Católica de Chile. En el marco del proyecto CORFO-CCG, Camila desarrolló una exhaustiva investigación en torno a la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), realizando un completo catastro de los procesos chilenos de EAE para el periodo 2011-2012.



### Mark Jelinek

Mark lidera el equipo técnico asociado a pronósticos climáticos en la consultora Asana en los Estados Unidos. En el contexto del proyecto CORFO-CCG, desarrolló herramientas de pronóstico y análisis climático para la zona central de Chile, poniendo a disposición un marco para la apropiada calibración de información asociada a modelos climáticos globales (GCMs).



### Eleonora Demaría

Ingeniera en Recursos Hídricos de la Universidad Nacional del Litoral, Argentina. Cursó estudios de maestría en Meteorología en la Universidad de Utah y de doctorado en Hidrología en la Universidad de Arizona, en los Estados Unidos. En el marco del proyecto CORFO-CCG, Eleonora desarrolló una base de datos de precipitación y temperatura para la región central de Chile, utilizada para la implementación de modelos hidrológicos a escala de cuenca.



## FORMACIÓN DE CAPITAL HUMANO DE EXCELENCIA



### Felipe Bravo

Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, actualmente estudiante de Doctorado en Ciencias de la Agricultura y Recursos Naturales. Su principal interés está ligado a la cuantificación de los sumideros de carbono en ecosistemas mediterráneos y en cómo estos son capaces de sobrevivir a la escasez hídrica. Felipe realizó una pasantía Doctoral en el Centro Andaluz de Medio Ambiente de la Universidad de Granada, Granada, España, experiencia que fue financiada por el proyecto CORFO-CCG.



### Fidel Maureira

Fidel es Ingeniero en Recursos Naturales. Es estudiante de Magister en el programa de Recursos Naturales. En el marco del proyecto CORFO-CCG, Fidel realizó una pasantía en la Washington State University, donde se dedicó a trabajar con los programadores del modelo de cultivos CropSyst para acoplarlo al modelo hidrológico WEAP, para así evaluar el comportamiento de la agricultura con usos transversales del agua y evaluar políticas en el contexto de cuenca y cambio climático.



### Olga Puertas

Ingeniera Agrícola de la Universidad del Valle en convenio con la Universidad Nacional en Colombia. Olga es candidata a Doctor en Ciencias de la Agricultura en la Pontificia Universidad Católica de Chile. En el marco del proyecto CORFO-CCG, Olga realizó una pasantía de en el Departamento de Geografía y Medio Ambiente de la Universidad de Waterloo (Canadá), para adquirir conocimientos sobre técnicas de clasificación de coberturas del suelo a partir de datos de sensores remotos.

## APOYO LOGÍSTICO



### Alejandra Palma

Alejandra ingresó como secretaria del Centro de Cambio Global UC el año 2009, apoyando la gestión y coordinación del proyecto CORFO-CCG.



## VISITAS INTERNACIONALES

### Científicos invitados en el marco de seminarios y talleres

#### Erin Cubbinson

Erin Cubbinson es Estratega de Diseño Sustentable en Gensler, y cuenta con experiencia en una variedad de áreas, incluyendo planificación urbana, planificación maestra, y generación de portafolio de estrategias. En el seminario internacional “Planificación Urbana y Cambio Climático: Experiencias en California y Chile”, Erin compartió las experiencias laborales que ha desarrollado en este campo.



#### Charlie Heaps

Charlie Heaps es Director del SEI Center en EEUU y a su vez un científico experimentado en el Programa de Energía y Clima del SEI. Charlie está a cargo en el SEI-US del desarrollo del modelo LEAP. En Junio del 2011, Charlie participó como instructor del Taller de Capacitación de Modelación en LEAP, y como panelista en el seminario internacional “Herramientas de apoyo a la modelación energética”, ambos eventos organizados en el marco del proyecto CORFO-CCG.



#### Mark Howden

Dr. Mark Howden es especialista en áreas tales como el estudio de impactos de la variabilidad y el cambio climáticos en los sistemas agrícolas y urbanos, como también en el desarrollo de sistemas agrícolas innovadores y sostenibles. En el marco del proyecto CORFO-CCG, el Dr. Howden fue panelista del Seminario Internacional “Agricultura Sustentable en el Chile del Futuro: Lecciones Internacionales y desafíos del Cambio Climático”.



#### Ermias Kebreab

El Dr. Ermias Kebreab es profesor en la Universidad de California Davis desde el año 2009. Sus áreas de interés incluyen la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura y la modelación matemática y la mitigación de las emisiones de los animales. El Dr. Kebreab presentó parte de sus trabajos de investigación en el Seminario Internacional del proyecto CORFO-CCG “Agricultura Sustentable en el Chile del Futuro: Lecciones Internacionales y desafíos del Cambio Climático”.





### David Purkey

David Purkey es líder de la oficina de SEI-US en el norte de California. Gran parte de su trabajo se centra en el desarrollo, la difusión y la aplicación del Water Evaluation And Planning (WEAP) system, herramienta para la gestión integrada de recursos hídricos. En el marco del proyecto CORFO-CCG, David presentó parte de sus trabajos en el seminario “Los Recursos Hídricos y el Cambio Climático”, y en el taller “Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos en la plataforma Weap”, ambos realizados en Octubre de 2010.



### Roberto Shaffer

Profesor Asociado de la Universidad Federal de Río de Janeiro, Brasil. El Seminario Internacional “Agua y Energía: Nexo Agua-Energía en el contexto del Cambio Global” fue llevado a cabo por el Centro de Cambio Global UC en Octubre del 2010, donde el Dr. Shaffer participó como panelista invitado.



### Lisa Schipper

Lisa es investigadora senior del SEI y posee gran experiencia profesional en el desarrollo y la adaptación al cambio climático, liderando esta área de trabajo científico en el SEI-US. Lisa participó en el Seminario Internacional “Agricultura Sustentable en el Chile del Futuro: Lecciones Internacionales y desafíos del Cambio Climático”, organizado en Octubre del 2012.



### Anne Smith

Anne Smith es gerente técnica del “CarbonZero Programme”. Experta en sistemas de contabilidad de carbono y procesos de certificación. Posee una vasta experiencia en administración ambiental y desarrollo sustentable. En Junio del 2010, Anne participó como panelista del Seminario Internacional “Huella de Carbono en el Sector Silvoagropecuario”.



### Trevor Stuthridge

Trevor Stuthridge es Gerente del Grupo del Diseño Sustentable de SCION. Extensa experiencia en gestión del carbón en la industria maderera y de celulosa. Miembro de la Junta de Directores de Beacon Rutas Ltd – industria/gobierno de Nueva Zelandia. En Junio del 2010, Trevor participó como panelista del Seminario Internacional “Huella de Carbono en el Sector Silvoagropecuario”.

## VISITAS INTERNACIONALES EN PERIODO SABÁTICO

### Ed Maurer

El Dr. Maurer es Profesor en el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Santa Clara. Es experto en temas de abastecimiento urbano de aguas y estudios de cambio climático. Durante el año 2012, el Dr. Maurer realizó un periodo sabático en el Centro de Cambio Global UC, desarrollando investigación relacionada con modelación hidrológica e impactos de cambio climático para Chile Central.



### Willem Van Leeuwen

El Dr. van Leeuwen es Profesor Asociado en la Universidad de Arizona (School of Natural Resources and the Environment & the School of Geography and Development), en Tucson. Es director del Centro de Percepción Remota en la misma Universidad. En el marco del proyecto CORFO-CCG, el Dr. Leeuwen realizó un periodo de sabático en el Centro de Cambio Global UC, entre Agosto y Diciembre del año 2012. Durante este periodo, dictó un seminario en percepción remota enfocado hacia la exploración de herramientas para el procesamiento e interpretación de datos satelitales para su aplicación en estudios de la Tierra.



# ESTABLECIMIENTO DE REDES Y DIFUSIÓN

## MISIONES CIENTÍFICO-TÉCNICAS

Se realizaron dos giras científico técnicas durante el proyecto, cuyo principal objetivo fue reconocer los desafíos respecto al cambio climático, como también las estrategias de investigación presentes en las regiones de Australia y España. La planificación y gestión de los recursos hídricos fue un tema destacado en ambas giras.

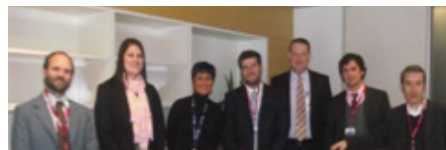
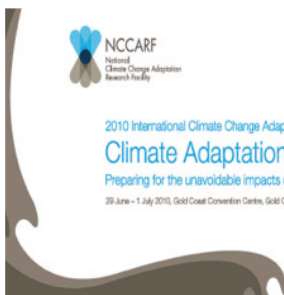
Tabla 4. Participantes de las misiones científico-técnicas.

Institución	Participante
Centro de Cambio Global UC	Francisco Meza, Sebastián Vicuña
Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile	Luis Gurovich
Ministerio del Medio Ambiente	Gonzalo León, F. Farías
Colbún S.A.	Felipe Cosmelli
Asociación de Regantes Maule Sur, de la cuenca del Río Maule en Chile.	Felipe Olivares, Daniela Torres

### Misión científico-técnica Australia

A continuación se presentan las principales visitas y actividades realizadas durante la gira a Australia:

- Asistencia a conferencia Adaptation Futures
- Visita Embajada Chile en Australia, Camberra.
- Visita Department of Climate Change and Energy Efficiency.
- Visita Department of Climate Change and Energy Efficiency/Department of Agriculture, Fisheries and Forestry).
- Reunión con autoridades de la Cuenca de Murray Darling.
- Visita Golburn Murray Water/Agricultor, Shepparton.
- Visita Melbourne Water/Victoria Department of Sustainability and Environment, Melbourne.
- Visita Oficina de Meteorología.



## Misión científico-técnica España

A continuación se presentan las principales visitas y actividades realizadas durante la gira a España:

- Visita Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Madrid.
- Visita Centro Estudios Hidrológicos, Madrid.
- Visita al Centro Nacional de Tecnología de Regadíos (CENTER), Madrid.
- Visita a la Confederación Hidrográfica de la Cuenca del Ebro, Zaragoza.
- Visita a la Comunidad de Regantes de la Acequia Real del Júcar, Valencia.
- Visita a la sesión del Tribunal de las Aguas de Valencia.
- Visita Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Valencia.
- Visita a la Confederación Hidrográfica del Júcar, Valencia.



Las mayores lecciones extraídas de las misiones científico-técnicas realizadas a España y Australia, en relación al cambio global, son las siguientes:

- La adaptación al cambio climático involucra planes que son diseñados en forma integrada y en perfecta sincronía entre los niveles de decisión superior (Autoridades gubernamentales y de gestión local de gobierno) junto con los tomadores de decisión individual.
- Para ambas realidades (España, Australia), en relación a los recursos hídricos es fundamental contar con un manejo integrado de cuencas que transite desde la predicción climática y las respuestas hidrológicas hasta la implementación de prácticas de manejo sustentable de suelos y de aguas.
- Para el caso de Australia, Cada una de los sectores visitados ha puesto en marcha planes de mitigación (reducción de emisiones junto con adaptación). Aun cuando la contribución del primero puede ser menor al problema global, les habilita para hacer cambios de paradigma y para introducir conceptos de eficiencia energética.
- España y Australia invierte en investigación para entender de mejor forma los determinantes de la variabilidad y cambio climático a nivel local. Destaca en esto la integración de escalas de tiempo y el énfasis especial que tiene la comprensión del fenómeno de la variabilidad climática. Son ejemplos muy importantes el CENTER y CEDEX para el caso de España.

### CONGRESOS INTERNACIONALES

El proyecto CORFO-CCG permitió la participación de profesionales del CCG-UC en diversos congresos internacionales. Esto es considerado un aspecto altamente relevante, dado que permite difundir y retroalimentar la investigación realizada con investigadores internacionales de excelencia. A continuación se presentan los congresos en que asistieron miembros del proyecto CORFO-CCG (en negrita se identifican los autores asociados al proyecto CORFO-CCG).

Tabla 6. Congresos internacionales en que participó el CCG-UC.

Evento	Lugar / Fecha	Título presentación autores	Autores
Watershed 2010 management conference: Innovations in Watershed Management Under Land Use and Climate Change	Madison, Wisconsin. Agosto 2010	An approach to estimating hydropower impacts of climate change from a regional perspective	<b>J. McPhee</b> , E. Rubio-Alvarez, R Meza, A Ayala, X Vargas and <b>S. Vicuna</b>
		Climate change economic impacts on supply of water for the M&I sector in the Metropolitan region of Chile	O. Melo, X. Vargas, <b>S. Vicuna, F. Meza</b> and <b>J. McPhee</b>
		Vulnerability and adaptation to climate change in an irrigated agricultural basin in semi arid Chile	<b>S. Vicuna</b> , R. Garreaud, <b>J. McPhee</b> , <b>F. Meza</b> and <b>G. Donoso</b>

Evento	Lugar / Fecha	Título presentación autores	Autores
American Geophysical Union-AGU Annual Fall Conference	San Francisco, California. Diciembre 2011	Connecting the dots: Water as a key variable of climate change vulnerability in Mediterranean locations of Central Chile	<b>F Meza</b> , N Bambach, O Puertas, <b>D Poblete</b> , <b>S Bonelli</b> , J Gironás, <b>S Vicuna</b> , <b>E Bustos</b>
		When hydrologic extremes are not driven by climatic extremes: exploring a climate change hydrologic extreme attribution example in South Central Chile	<b>S Vicuna</b> , J Gironás, <b>F Meza</b> , M Cruzat, <b>M Jelinek</b> , <b>D Poblete</b>
International Conference Planet Under Pressure: New Knowledge toward solutions	Londres, UK. Marzo 2012	Taking stock and moving forward to address mitigation and adaptation challenges in Chile	<b>F Meza</b> , <b>S Vicuña</b> , <b>L Cifuentes</b> , JC Castilla, P Marquet, H Gilabert, <b>J Barton</b> , C Henríquez, R Larraín, J Gironás, OMelo, E Sauma
Water Security, Risk and Society Conference	Oxford, Inglaterra. Abril 2012	Adaptation assessment for a highly urbanized city under climate change pressure: Santiago de Chile and its water security challenge	<b>S Bonelli</b> , <b>S Vicuña</b> , <b>F Meza</b>
IWA World Congress, Dublin, Irlanda.	Dublin, Irlanda. Mayo 2012	Water resources modeling under Climate Change scenarios of Maule river basin (Chile) with two main water intensive and competing sectors: Agriculture and Hydropower generation	<b>D Poblete</b> , <b>S Vicuna</b> , <b>F Meza</b> , <b>E Bustos</b>



Evento	Lugar / Fecha	Título presentación autores	Autores
Climate Adaptation Futures Conference	Tucson, USA. Mayo 2012.	Climate Change and Water Security in the Maipo Basin	<b>F Meza</b>
		The infrastructure paradox: Exploring a maladaptation example from the Limari Basin in Central Chile	<b>S Vicuña</b> , O Melo, P Alvarez, A Sanchez, C Vivanco, L Dale
		Adaptation challenges for middle income countries: the experience of Chile	<b>Vicuña, S</b>



World Congress  
on Water, Climate  
and Energy



**AGU FALL MEETING 2011**  
San Francisco, California, USA | 5-9 December



**WATERSHED**  
2 0 1 0  
Management Conference

## SEMINARIOS Y TALLERES INTERNACIONALES

### SEMINARIOS

Se realizaron seis Seminarios Internacionales en el marco del proyecto CORFO-CCG. A través de estos Seminarios fue posible transmitir a la comunidad los resultados de investigación obtenidos a lo largo del proyecto. Adicionalmente, los Seminarios contaron con la participación de invitados internacionales expertos en materia de cambio climático asociado a diversos temas, tales como recursos hídricos, energía, huella de carbono, planificación urbana y agricultura. A continuación se entrega una descripción de los seminarios realizados.

#### **“Huella de Carbono en el sector Silvoagropecuario”, 23 de Junio 2010.**

En Junio del 2010 se realizó este primer seminario internacional en el marco del proyecto CORFO-CCG. Este seminario fue organizado en conjunto con la Embajada de Nueva Zelanda y la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal de la Pontificia Universidad Católica de Chile con el objetivo de tomar en cuenta la experiencia internacional y local con respecto a la huella de carbono del sector silvoagropecuario y contó con la presencia del Ministro de Agricultura don José Antonio Galilea.

#### **“Planificación Urbana y Cambio Climático: Experiencias en California y Chile”, 5 de Agosto 2010.**

En Agosto del 2010 por otra parte se llevo a cabo el Seminario: Planificación Urbana y Cambio Climático: Experiencias en California y Chile, organizado en conjunto con el Instituto de Estudios Urbanos y donde se abordó, con la participación de una representante de Gensler, una prestigiosa firma de arquitectos de USA, la temática de las ciudades como entes causantes y afectados por los procesos de cambio global.

#### **“Los Recursos Hídricos y el Cambio Climático”, 8 de Octubre, 2010.**

Este seminario contó con la participación internacional del Dr. David Purkey, investigador a cargo del área de Recursos Hídricos del Sotckholm Environment Institute institución co-desarrolladora del proyecto. Adicionalmente se contó con la participación de los siguientes científicos y autoridades: Ricardo Irarrázabal: Subsecretario Ministerio del Medio Ambiente; Bernardo Larraín: Gerente General Colbún; Juan Carlos de la Llera: Decano de la Facultad de Ingeniería, UC; Matías Desmadryl: Director General de Aguas; Francisco Meza: Director de Centro de Cambio Global UC; Sebastián Vicuña, Director Ejecutivo Centro de Cambio Global UC; y Mariana Concha: Subdirectora Dirección General de Aguas.

### **“Herramientas de Apoyo a la planificación energética”, 17 de Junio 2011.**

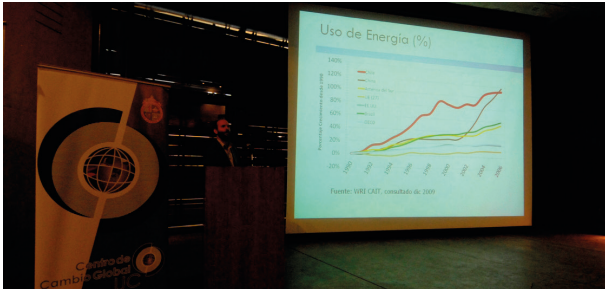
Con la participación del Dr. Charlie Heaps, Director del Stockholm Environment Institute – US Center (institución co-desarrolladora del proyecto), el día 17 de Junio 2011 se llevó a cabo en el Hotel Neruda, Santiago, el Seminario “Cambio Climático: Herramientas de Apoyo a la planificación energética”. Adicionalmente se contó con la participación como expositores de las siguientes personas: Alberto Ugalde, División Prospectiva y Política Energética, Ministerio de Energía; Juan Eduardo Vázquez, Gerente División Negocios y Gestión de Energía, Colbún S.A.; Francisco Meza, Director del Centro de Cambio Global UC; Luis Cifuentes, Centro de Cambio Global UC; Alfred Moyo, Energy Research Centre, University of Cape Town.

### **“Agua y Energía: Nexo Agua-Energía en el contexto del Cambio Global”, 24 de Noviembre 2011.**

Este seminario contó con la participación internacional de Larry Dale (Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California) y Roberto Schaeffer (Energy Planning Program, Universidade Federal do Rio de Janeiro), además de la participación de Sebastián Vicuña, Director Ejecutivo del Centro de Cambio Global UC. Asistieron como panelistas los Sres. Joseluis Samaniego (DSAH CEPAL), Juan Ignacio Domínguez (Decano Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal), Sr. Sergio del Campo (Subsecretario Ministerio de Energía) y Francisco Meza (Director CCG-UC).

### **“Agricultura Sustentable en el Chile del Futuro: Lecciones internacionales y desafíos del Cambio Climático”, 19 de Octubre, 2012.**

Llevado a cabo en el Salón de Honor de la Pontificia Universidad Católica de Chile, este seminario contó con la presencia y presentaciones internacionales del Sr. Mark Howden (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia), del Sr. Ermias Kebreab (Universidad de California, Davis), y la Sra. Lisa Schipper (Stockholm Environment Institute). El Sr. Gustavo Rojas (Ministerio de Agricultura) dio las palabras de apertura a este seminario, y el Director del CCG-UC, Sr Francisco Meza, cerró con una presentación dedicada a los desafíos locales de la agricultura en el contexto del cambio global.



## TALLERES DE CAPACITACIÓN

Se realizaron cuatro talleres a lo largo del proyecto, dirigidos a participantes tanto del sector público como privado, provenientes no solo de Chile sino que también de otros países de Sudamérica. En estos talleres se entregó capacitación en el uso de herramientas vinculadas al uso de escenarios climáticos, el manejo de los recursos hídricos y energéticos, y el monitoreo ambiental de recursos mediante el uso de imágenes satelitales.

### **“Taller Downscaling y Análisis de Incertidumbre”, 8 y 9 de Junio, 2010.**

El desarrollo de medidas y programas de adaptación a los impactos del cambio climático requiere de la generación de escenarios climáticos que cubran un número alto de modelos y niveles de emisión de gases de efecto invernadero, información no disponible para el caso de Chile. Es por estas razones que se quiso organizar un taller técnico, enfocado exclusivamente a plantear las diferentes alternativas disponibles para el desarrollo de análisis de incertidumbre y downscaling de escenarios climatológicos.

Los expositores fueron el profesor Edwin Maurer de la Universidad de Santa Clara quien ha estado involucrado en la preparación de información de un alto porcentaje de estudios de impacto del cambio climático para un número diverso de sectores como los recursos hídricos, forestales, agrícola, zonas costeras, etc. y los profesores y miembros del Centro de Cambio Global Sebastián Vicuña y Francisco Meza.

### **“Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos en la plataforma WEAP”, 4-7 de Octubre, 2010.**

Este taller planteó su desarrollo en base a tres grupos temáticos. El primero de estos se enfocó a la capacitación de profesionales y académicos sin experiencia en el uso de modelo WEAP, pero con experiencia previa en modelación de recursos hídricos. El segundo bloque temático funcionando en paralelo al anterior tuvo como objetivo el aprendizaje de funciones avanzadas del modelo y, por lo tanto, estuvo orientado pensando hacia un grupo de usuarios ya con experiencia en el uso del modelo. Finalmente, se llevó a cabo un bloque de presentaciones tipo seminario, que sirvió para difundir experiencias en el uso del modelo en Chile y en otras latitudes.

Los instructores del taller de capacitación fueron el Sr. David Purkey (SEI-US), el Sr. Sebastián Vicuña (CCG-UC, SEI-US Asociado), el Sr. Eduardo Bustos (CCG-UC) y el Sr. Eduardo Rubio (Ingeniería Civil, Universidad de Chile).

A su vez el Prof. James McPhee (Ingeniería Civil, Universidad de Chile) ofició de moderador para las sesiones de seminario en el uso del modelo WEAP.



### **“Taller Modelación LEAP”, 14 y 15 de Junio 2011.**

Los objetivos de este taller fueron, por un lado, capacitar en el uso de herramientas de planificación de largo plazo en el sector energético, como el sistema LEAP, y por otro, analizar la información que se ha creado para el caso chileno usando esta herramienta.

Contó con sesiones teórico-prácticas, abarcando los fundamentos en el uso del modelo LEAP, su implementación en el mundo y los ejemplos desarrollados para el caso chileno.

Los instructores en esta oportunidad fueron el Sr Charlie Heaps (SEI-US), el Sr. Andrés Pica (CCG-UC) y el Sr. Bruno Campos (PROGEA, Universidad de Chile).

### **“Taller en Percepción Remota y Monitoreo Ambiental”, 26-28 de Octubre 2011.**

Este taller fue dirigido a los profesionales del área agronómica, forestal, ingeniería y medioambiente vinculados con el manejo y gestión de los recursos naturales, y contó con sesiones teórico-prácticas, abarcando los fundamentos teóricos y bases técnicas e implementaciones de la percepción remota en el monitoreo ambiental.

Como herramienta de trabajo se utilizó el software ENVI para el procesamiento de imágenes, facilitado para este taller por la empresa ESRI-Chile.

Los módulos de formación fueron realizados por los académicos de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Dr. Marcelo Miranda y Dr. Agustín Pimstein, ambos con gran experiencia en este ámbito. Adicionalmente se contó con la participación del Dr. Willem Van Leeuwen, Profesor asociado de la Escuela de Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad de Arizona, EE.UU., quien cuenta con vasta experiencia en el uso de percepción remota aplicada a sistemas terrestres, con especial énfasis en ecosistemas semiáridos y su respuesta a la variabilidad climática y a la actividad humana.



## PUBLICACIONES DE EXTENSIÓN

La transferencia de tecnología y la difusión de resultados son considerados elementos esenciales en el Centro de Cambio Global UC. La vía de las publicaciones científicas ISI es sin duda una forma fundamental de difusión científica, sobre todo por tratarse de un camino formal evaluado por pares científicos. Sin embargo, el desarrollo de investigación como la realizada en el proyecto CORFO-CCG debe encontrar lugar en la comunidad que no está directamente vinculada al desarrollo de la ciencia y la investigación. En este ámbito, el CCG-UC ha optado por la publicación de sus resultados en fuentes de difusión de extensión. A continuación se encuentran las referencias asociadas a estas publicaciones de extensión.

Formato	Nombre	Título	Autores	Año
Libro	Energía: La electricidad en un mundo que avanza	Unidad I: La energía en el mundo moderno	S Vicuña	2012
Revista	Agronomía Y Forestal UC	Abastecimiento de Agua en la cuenca del Maipo: Cómo enfrentar el cambio climático	S Bonelli, F Meza	2012
Revista	Revista Universitaria Pontificia Universidad Católica de Chile	Agua para el futuro	O Puertas, F Meza	2013
Serie de publicaciones	Centro de Políticas Públicas UC	Los nuevos desafíos para la gestión de los recursos hídricos en Chile en el marco del Cambio Global	S Vicuña, F Meza	2013

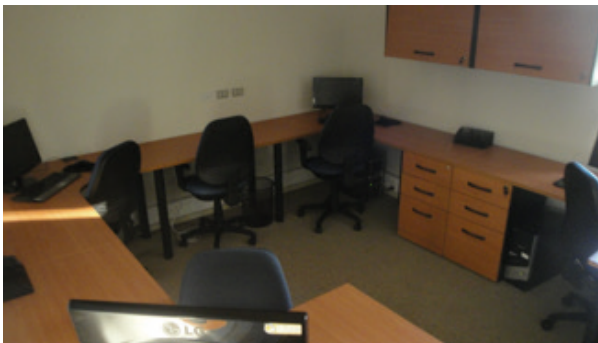
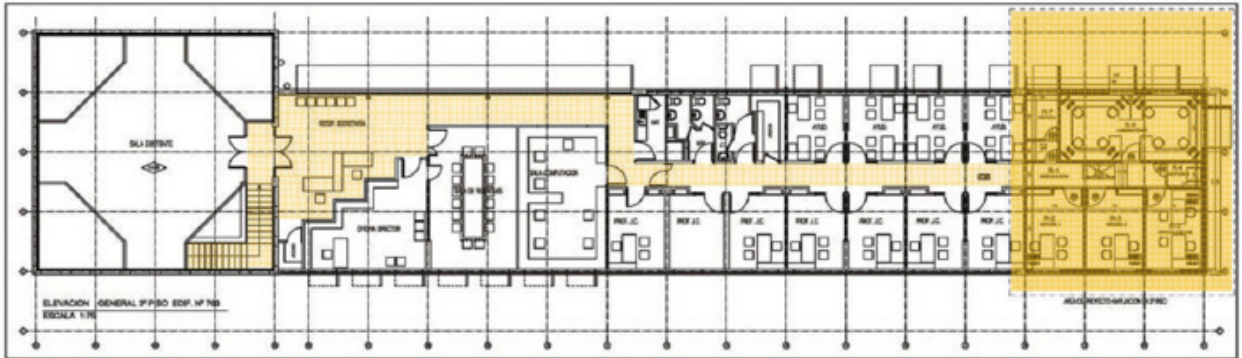
Formato	Nombre	Título	Autores	Año
Libro	Linking urban ecology, environmental justice, and global environmental change: a framework for urban sustainability.	Capítulo: Climate change adaptation and socio--ecological justice in Chile`s metropolitan areas: The role of spatial planning instruments	J Barton	2013
Libro	Edición independiente	Fortalecimiento de capacidades para enfrentar los desafíos del cambio global en Chile. Síntesis de proyecto	CCG-UC	2013
Serie de publicaciones	Comisión Nacional de Riego	Modelación de recursos hídricos de la cuenca del río Maule y análisis de impactos de con proyecciones de cambio climático	D Poblete	2013



## INFRAESTRUCTURA

Uno de los objetivos de este proyecto ha sido el implementar un laboratorio de simulación de cambio global de última generación, que permita desarrollar modelos acoplados de impactos, almacenar bases de datos y desarrollar aplicaciones específicas en las áreas de hidrología, energía y monitoreo de recursos naturales.

En abril del año 2011 se habilitó este laboratorio, conformando un espacio esencial para el trabajo de investigación desarrollado por alumnos de postgrado vinculado al Centro de Cambio Global UC. Este laboratorio cuenta con ocho estaciones de trabajo equipadas. Adicionalmente se implementó un espacio de 3 oficinas, espacio utilizado como estación de trabajo para el equipo directivo del CCG-UC, y para investigadores asociados y alumnos de posgrado.



La inauguración de las instalaciones contó con la presencia de todo el equipo académico y administrativo asociado al desarrollo del proyecto CORFO-CCG, así como también autoridades representantes de la Pontificia Universidad Católica de Chile, la facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal y de los socios de proyecto.



---

# VISIÓN DE FUTURO

---

Siempre es gratificante revisar, con la perspectiva del paso del tiempo, los logros y principales hitos alcanzados a través de un proyecto. En este caso es especialmente gratificante poder verificar que aquello que fue ideado en el momento de la formulación se cumple, y en muchos casos, sobrepasa lo planeado. De manera especial quisiera destacar dos valiosos frutos de este proyecto. El primero lo constituye una alianza entre Colbún y el Centro de Cambio Global UC (CCG-UC) para estructurar un proyecto de innovación y mejoramiento del riego junto a la Asociación de Canalistas del Maule Sur. Liderado por el profesor Luis Gurovich, este proyecto representa todo un ejemplo de trabajo orientado a llegar a los usuarios finales y fortalecer sus capacidades individuales para enfrentar problemas relacionados al uso eficiente del agua. El segundo, es un proyecto de Sistema de Soporte a la toma de Decisiones para la reducción de la Vulnerabilidad a la Variabilidad y Cambio Climático. Esta iniciativa, financiada por FONDEF, nos plantea la oportunidad de estructurar un trabajo interdisciplinario ambicioso y de alto impacto que será replicable a muchas realidades y cuencas del País.

Al cabo de estos tres años el CCG-UC es distinto y se encuentra mejor preparado para servir a su misión estratégica. También pienso que el País se encuentra un poco mejor preparado, no sólo a consecuencia de este proyecto, sino debido a que ha encontrado un camino de diálogo público-académico y privado para abordar los desafíos del Cambio Global. Muchas son las iniciativas e instituciones que atestiguan en favor de esta idea.

Sin embargo, no podemos estar conformes con este término exitoso. Los desafíos del Cambio Global son múltiples y de gran envergadura. Algunos de ellos han sido dimensionados gracias a las actividades de este proyecto, especialmente en lo que respecta a los impactos del cambio climático sobre la disponibilidad de recursos hídricos y su efecto cascada en ecosistemas, agricultura, sectores urbanos y energéticos. Sobre otros, apenas hemos comenzado a identificarlos. Las temas pendientes en materia de biodiversidad, especialmente acuática, impactos en servicios ecosistémicos de regulación y en la integración de modelos para capturar de mejor forma la complejidad del sistema son motivo de preocupación y nos mueven a seguir adelante.

En el horizonte comienzan a aparecer nuevos desafíos. Migrar de la evaluación de impactos y escenarios de emisión a la implementación de planes de mitigación que sean acordes a las potencialidades y limitaciones del país, y la acuciante necesidad de estructurar planes de adaptación que aborden las distintas dimensiones de la vulnerabilidad que se erigen como los temas más importantes de los próximos años y requerirán de un esfuerzo intelectual y de un significativo aporte de recursos para llevarlos a cabo con la celeridad que se requiere.

Asimismo estimamos que uno de los desafíos mayores consiste en no compartimentalizar el tema del Cambio Global y del Cambio Climático, situándolo en un futuro incierto y dependiente. No desconocemos el alto nivel de incertidumbre que existe, ante lo cual hemos tratado de estructurar una metodología para lidiar con ello. Sin embargo queremos reafirmar que la inversión en capacidades para enfrentar desde temprano este tema representa la forma más segura de abordarlo eficazmente y tiene réditos en materia de otros problemas ambientales que se viven en el presente, por ejemplo frente a los problemas de escasez temporal de agua que se viven a consecuencia de la variabilidad climática.

Este proyecto lleva por encabezado “Fortalecimiento de Capacidades...” representando más que una inversión temporal una definición de estrategia. Fortalecer, Crear, Innovar, Expandir, Desafiar son verbos que han sido adoptados por los miembros del proyecto e incorporados como parte de su sello para liderar en tiempos de cambio. Mantenerse fiel a esa filosofía es nuestro compromiso.









Centro de Cambio Global  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Av. Vicuña Mackenna 4860, Santiago, Chile  
(02)23544137  
cambioglobal@uc.cl

<http://cambioglobal.uc.cl>