



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
CENTRO DE CAMBIO GLOBAL UC

**“ENFOQUE METODOLOGICO PARA EVALUAR LA ADAPTACIÓN AL
CAMBIO CLIMATICO EN LA INFRAESTRUCTURA PÚBLICA DEL MOP”**

Informe Final

Para

Ministerio de Obras Públicas

Diciembre 2012

Informe Final

ENFOQUE METODOLOGICO PARA EVALUAR LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMATICO EN LA
INFRAESTRUCTURA PÚBLICA DEL MOP.

Sebastián Vicuña D.

Director de Proyecto

Jorge Gironás

Investigador Experto

Rodrigo Cienfuegos

Investigador Experto

Guillermo Donoso

Investigador Experto

Sebastián Bonelli

Investigador Asociado y coordinador de proyecto

Macarena Vio

Coordinadora taller de validación

Índice

Introducción	3
I. Marco conceptual de trabajo.....	4
II. Cambio Climático en Chile: Proyecciones y potenciales amenazas.	6
A. Generación de escenarios de proyección climática	6
B. Amenazas del cambio climático en Chile.	11
1. Sequías	13
2. Inundaciones fluviales.....	14
3. Inundaciones costeras.....	17
III. Análisis de desarrollo obras de infraestructura y relación con cambio climático.....	19
A. Obras de Riego	20
B. Obras de Drenaje y Evacuación de Aguas Lluvia.....	24
C. Obras Manejo de Cauces.....	28
D. Sistemas de Agua Potable Rural (APR).....	30
E. Puentes / Proyectos viales interurbanos	32
F. Infraestructura Portuaria y de protección de Riberas	37
IV. Incorporación del cambio climático en el sector infraestructura: revisión de experiencias internacionales	39
V. Propuesta metodológica para incluir la adaptación al cambio climático en el desarrollo de obras de infraestructura pública en Chile	41
A. Introducción	41
B. Propuesta metodológica	42
VI. Recomendaciones	47
Referencias.....	49
Anexo I.I: “Eventos extremos y cambio climático en Chile”	52
Anexo I.II Registro de reuniones sectoriales.	73
Anexo II: Informe de gestión Taller de Validación.	80

Introducción

De acuerdo al último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007), el cambio climático está ocurriendo, y el efecto de la actividad antropogénica sobre este proceso es indesmentible. El potencial impacto que el cambio climático pueda tener sobre las actividades socioeconómicas de una región determinada es difícil de cuantificar. Sin embargo, las proyecciones indican que los esfuerzos hasta hoy realizados en relación a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son insuficientes para evitar el alza de las temperaturas promedio globales, por lo que esfuerzos de adaptación ligados al desarrollo de políticas públicas han pasado a cobrar mayor relevancia durante los últimos años.

En la actualidad, la infraestructura cumple un rol de soporte esencial para una amplia gama de sectores productivos y por ende es un facilitador para el desarrollo económico y el bienestar social. En Chile, podemos encontrar numerosos ejemplos en relación a este rol. Las obras de infraestructura implementadas en el país han permitido mejorar la salud y calidad de vida de la población, facilitando la conectividad entre distintas zonas, desarrollando obras de servicio público y aumentando el acceso a los recursos hídricos para el consumo humano. Por otro lado, se ha facilitado el desarrollo del sector silvoagropecuario mediante obras de regulación y conducción del agua, mejorando y ampliando las alternativas de riego. Así también, se ha logrado extender la capacidad energética del país, para satisfacer una población y un sector industrial crecientes, lo que a su vez conlleva un crecimiento comercial importante.

En Chile, las proyecciones de cambio climático indican que habría en el futuro un alza de las temperaturas y una disminución en las precipitaciones. Potenciales impactos asociados a este tipo de cambios, generalmente vinculados a posibles cambios en los eventos extremos, implican una amenaza para las obras de infraestructura, y consecuentemente, una amenaza también para todos aquellos sectores o necesidades que dependen o son abordadas por medio de distintas obras.

Es por esto que los procesos de desarrollo de inversión de infraestructura, incluyendo la planificación, diseño y operación de obras, debe en la actualidad considerar la proyección de impactos dentro de los procedimientos e instancias que forman parte del ciclo de vida de las obras, e ir en la búsqueda de metodologías que permitan evaluar alternativas de adaptación.

En este contexto, surge una necesidad por parte del Ministerio de Obras Públicas (MOP), de contar con una metodología que permita incorporar proyecciones de cambio climático en estos procesos.

El Centro de Cambio Global UC ha abordado este desafío en el marco de la consultoría “Enfoque metodológico para evaluar la adaptación al cambio climático en la infraestructura pública del MOP”, cuyos resultados finales se plasman en el presente Informe.

I. Marco conceptual de trabajo.

Como base del marco conceptual de este trabajo utilizaremos la información generada en el Informe Especial de Cambio Climático y Eventos Extremos (SREX por sus siglas en inglés) (IPCC, 2012). En dicho informe se establecen las relaciones básicas existentes entre la adaptación al cambio climático y la gestión de desastres tal como se presentan en la Figura 1.

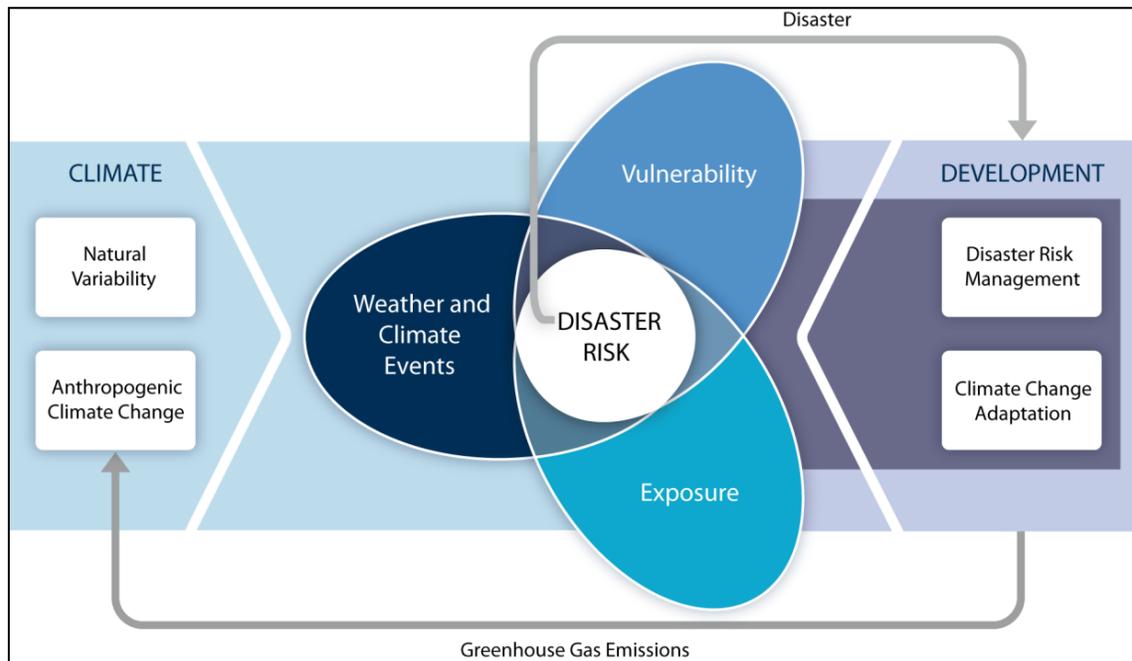


Figura 1. Relaciones entre la adaptación al cambio climático y la gestión de desastres. Fuente, IPCC (2012).

De acuerdo al marco conceptual presentado en dicha figura la ocurrencia de un desastre ocurre cuando existe la concurrencia de tres factores: una amenaza de tipo climático, un sistema natural o humano que se ve expuesto a dicha amenaza, y que a la vez es vulnerable a la misma. Si no ocurren estos tres factores no existe el riesgo ni su manifestación que corresponde al desastre. Con respecto a la amenaza climática se puede distinguir aquella parte que corresponde a la variabilidad natural intrínseca al sistema climático. Pero ésta puede verse exacerbada o disminuida producto del cambio climático de origen antropogénico. A través de la *Mitigación* de la emisión de gases de efecto invernadero se puede en el largo plazo reducir la magnitud de este cambio en la amenaza. Por otra parte la reducción de la magnitud del desastre se puede reducir a través de una reducción en la exposición y/o vulnerabilidad de los grupos amenazados. El desarrollo sostenible contribuye a ambos efectos en particular a través del desarrollo de políticas y/o medidas de Adaptación y Gestión de Desastres. Pese a que el objetivo de ambas estrategias es el mismo, la adaptación al cambio climático se puede reconocer como un complemento a la gestión de desastres concebido para amenazas que se manifiestan en el largo plazo.

Esta relación básica muy centrada en desastres o eventos extremos puede ser extendida al considerar condiciones climáticas de largo plazo o climatología de base (ver Figura 2). Al ampliar el esquema en este sentido cobra más relevancia en términos relativos la adaptación al cambio climático permitiendo además reconocer aspectos no solo negativos sino que también positivos que pueden manifestarse con nuevos escenarios climáticos.

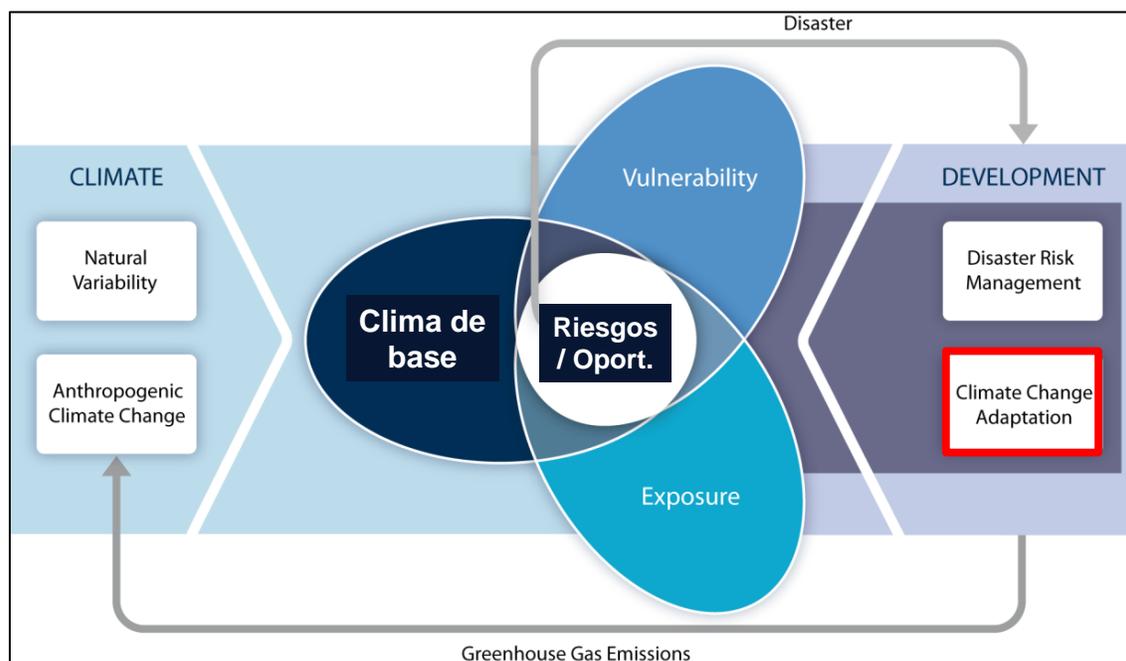


Figura 2. Aproximación extendida de la relación entre la adaptación al cambio climático y la gestión de desastres.

Una nueva condición climática de base puede ofrecer nuevas oportunidades en una región determinada. Un ejemplo de esta situación podría asociarse a cambios positivos en la productividad de ciertos cultivos.

La infraestructura tiene un rol muy relevante básicamente en dos aspectos asociados a la adaptación al cambio climático. Por una parte las obras de infraestructura pueden considerarse como parte de los elementos que se ven expuestos y/o son vulnerables a una respectiva amenaza climática. En cierta medida se puede considerar que todas las obras de infraestructura caen dentro de esta categoría. Por otra parte es posible considerar que cambios en las condiciones climáticas pueden aumentar de manera negativa la exposición de grupos vulnerables siendo la infraestructura una de las alternativas existentes para reducir esta exposición¹. Ejemplos de obras que caen dentro de esta categoría son todas aquellas obras destinadas a proteger a la población de eventos extremos (drenaje de aguas lluvia, obras de protección costera y fluvial) así como también obras de infraestructura destinadas tanto a almacenamiento y distribución de recursos hídricos (embalses, sistemas de riego, sistemas de Agua Potable Rural-APR).

¹ Es posible concebir también que el cambio climático sea percibido como una oportunidad y no como una amenaza en cuyo caso la infraestructura podría servir para aumentar la exposición de grupos humanos a estas nuevas condiciones.

El proceso de gesta de una obra de infraestructura implica distintas etapas desde el momento en que se concibe la necesidad de la obra (nivel estratégico de planificación) al momento en que se construye y finalmente se opera y mantiene la obra. Para distintos tipos de obras existirán distintas maneras en que el cambio climático se podrá relacionar con diferentes etapas de este proceso. Esto dependerá en parte en las características del cambio climático esperado y en las características de la obra de infraestructura. Estos dos aspectos son desarrollados para las condiciones específicas en Chile en los próximos dos capítulos del informe.

II. Cambio Climático en Chile: Proyecciones y potenciales amenazas.

A. Generación de escenarios de proyección climática

El desarrollo adaptativo de un sector frente a las amenazas del cambio climático depende fundamentalmente de la generación de escenarios de proyección climática, que permitan identificar los potenciales impactos asociados a una zona geográfica y a un sector determinado (ej. Infraestructura). El objetivo de la presente sección es dar una aproximación a los métodos en que estos escenarios de proyección son generados, reconociendo las limitaciones de utilizar estos métodos. Son estos métodos los que a la larga nos permiten evaluar resultados y tomar decisiones, incluyendo aquellas que se relacionan con la adaptación. La información aquí descrita se basa en el informe *Climate Change, The Physical Basis* (IPCC, 2007).

La herramienta más avanzada en la actualidad para representar los procesos físicos que ocurren en la atmósfera, océanos, criósfera y superficie terrestre, y la forma en que estos se ven afectados por concentraciones crecientes de gases de efecto invernadero (GEI), son los modelos de circulación general o modelos de clima global (GCM, por sus siglas en inglés). En el recuadro 1 se presenta una explicación de los GCMs. Los GCMs simulan el sistema climático en base a las leyes y principios de la Física que gobiernan los procesos que ocurren en cada componente del sistema y los intercambios de energía y masa entre sí. Los modelos son capaces de simular con razonable confiabilidad la evolución futura del clima, forzados por diversos escenarios de emisiones de GEI, los cuales se asocian a posibles escenarios de desarrollo construidos en base a criterios y supuestos socio-económicos.

La Figura 3 muestra una representación conceptual de este proceso. Los escenarios de emisión (a) son tomados como información de entrada por los GCMs (b), los cuales entregan resultados de proyección respecto a variables climáticas, como la temperatura (c).

RECUADRO I

MODELOS DE CIRCULACIÓN GENERAL/MODELOS DE CLIMA GLOBAL (GCM)

Los modelos de clima global (GCM) proporcionan estimaciones cuantitativas creíbles sobre los cambios climáticos futuros, en particular, a escala continental y más allá de ésta. La veracidad de los modelos se deriva del hecho de que los modelos se basan en principios físicos aceptados y son capaces de reproducir las características observadas del clima actual y de cambios climáticos del pasado. La confianza que se tiene en las estimaciones de los modelos es mayor para algunas variables climáticas como la temperatura, que para otras como las precipitaciones.

Los modelos se sustentan en su capacidad de simular aspectos importantes del clima actual, para lo cual son evaluados comparando las simulaciones de estos con las observaciones de la atmósfera, el océano, la criósfera y la superficie terrestre. Durante el último decenio han tenido lugar niveles de evaluación sin precedentes mediante 'intercomparaciones' organizadas de modelos múltiples. Los modelos han mostrado una capacidad importante y cada vez mayor para representar muchas características importantes del clima medio, tales como la distribución en gran escala de la temperatura atmosférica, de la precipitación, las radiaciones y los vientos; así como la distribución de las temperaturas oceánicas, las corrientes y las capas de hielo sobre el mar.

Los modelos pueden simular también aspectos esenciales de muchos de los patrones de la variabilidad del clima observada en todo un rango de escalas de tiempo. Algunos ejemplos de ello son el avance y retirada de los principales sistemas de monzones, los cambios estacionales de temperatura, las trayectorias de las tormentas y las franjas de lluvias, así como la variación a escala hemisférica de las presiones extra-tropicales de la superficie ('modos anulares' septentrionales y meridionales).

No obstante, los modelos aún muestran errores significativos. Aunque, por lo general, estos son mayores a escalas más pequeñas, aún persisten importantes problemas a gran escala. Por ejemplo, todavía existen deficiencias para la simulación de la precipitación tropical, El Niño/Oscilación Meridional y la Oscilación Madden-Julian (una variación observada de los vientos tropicales y precipitaciones en una escala de tiempo de 30 a 90 días). La razón fundamental para la mayoría de estos errores es que muchos procesos importantes a pequeña escala no pueden representarse de manera explícita en los modelos, y deben incluirse por tanto de forma aproximada cuando interactúan con accidentes de mayor escala. Ello se debe en parte a las limitaciones de la capacidad de procesamiento, pero es también el resultado de limitaciones en cuanto al conocimiento científico o la disponibilidad de observaciones detalladas de algunos procesos físicos.

A pesar de las incertidumbres existentes, los modelos son unánimes en cuanto a la predicción que hacen del calentamiento considerable del clima por el aumento de los gases de efecto invernadero, y la magnitud de este calentamiento está en correspondencia con las estimaciones independientes, procedentes de otras fuentes, tales como las que son el resultado de cambios climáticos observados y reconstrucciones de climas pasados.

Fuente: IPCC, 2007.

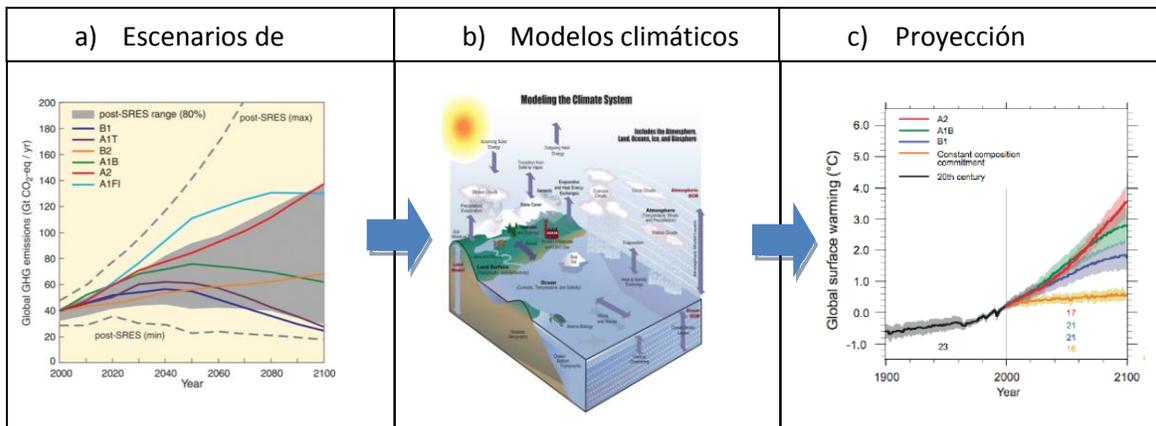


Figura 3. Representación conceptual de proceso de obtención de proyecciones climáticas
Fuente: IPCC (2007)

En la actualidad existen alrededor de 20 GCMs, los que pueden diferir en varios aspectos, tales como la forma en que los procesos son representados o parametrizados, los métodos numéricos utilizados para resolver ecuaciones internas del modelo, la resolución horizontal y vertical a la cual entregan sus resultados, y la forma en que interactúan los procesos relativos a la atmósfera y el océano. En consecuencia, los modelos pueden presentar distinta sensibilidad a cambios en las concentraciones de GEI (variable forzante), como también pueden presentar diferencias en la climatología simulada.

La gama de posibles aplicaciones respecto al uso de los GCMs hoy disponibles es amplia. Algunos ejemplos de aplicación se asocian a: (i) identificar el nivel de efecto de las actividades humanas sobre el cambio climático (atribución), (ii) identificar el nivel de respuesta del sistema climático ante diversos forzamientos (sensibilidad), (iii) evaluar escenarios de emisión de GEI y su efecto a gran escala, (iv) evaluar el efecto de posibles opciones de mitigación y (v), identificar impactos regionales.

Sin embargo, la aplicación directa de los GCM es limitada cuando se trata de evaluar impactos locales. Por un lado los GCMs utilizados para generar proyecciones climáticas entregan resultados a una baja resolución espacial, típicamente del orden de los 50 km². Tal como se describe en el recuadro 1 sobre modelos climáticos, existen errores significativos de los modelos en relación a la simulación de procesos a pequeña escala (Maurer, 2007). Esta limitante es altamente relevante para evaluar impactos que ocurren a una escala local, y que se asocia directamente con la evaluación de alternativas de adaptación. Esto es particularmente importante en Chile, donde las condiciones climatológicas y ambientales pueden cambiar de forma marcada a escalas menores. Esto está asociado sobre todo a la alta variabilidad topográfica, y a la corta distancia entre la cordillera y el océano. Bajo estas condiciones, un cuadrante de 50 km² es insuficiente para capturar diferencias meteorológicas relevantes, por lo que se requiere de evaluaciones de impacto acotadas a escalas menores (Meza, submitted).

Este requerimiento ha sido abordado mediante técnicas sofisticadas que permiten ajustar las proyecciones climáticas a escalas espaciales reducidas. Estas técnicas se basan en el desarrollo de

modelos climáticos regionales o métodos de reducción gradual de la escala (downscaling), con el objetivo de estudiar los cambios climáticos a escalas regional y local. (Figura 4).

El desarrollo de estas técnicas de reducción de escala es un proceso complejo, que requiere de capital humano avanzado, con experiencia en la generación de escenarios de proyección climática, como también en el uso de herramientas computacionales sofisticadas necesarias para cumplir objetivos asociados a este proceso. En este sentido, en un proceso adaptativo, las decisiones respecto a desarrollar o no este tipo de técnicas debe ser bien evaluado respecto al beneficio que se puede obtener de ellas.

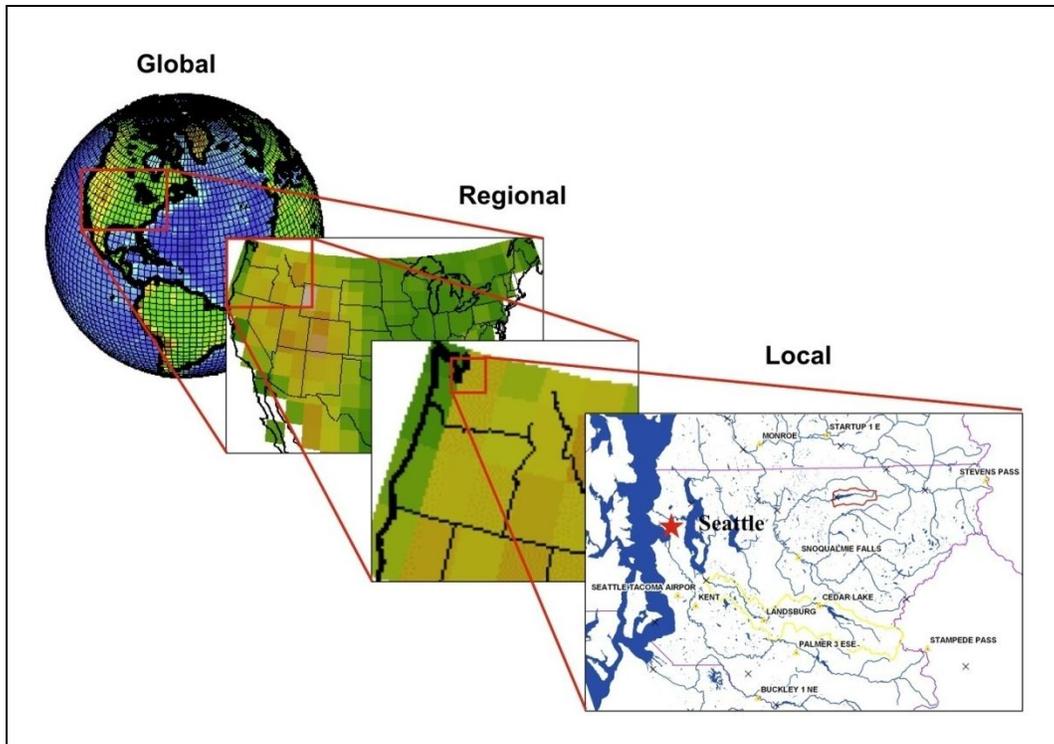


Figura 4. Representación conceptual del proceso de downscaling. Fuente: depts.washington.edu (2012).

Por otro lado, las proyecciones climáticas tienen siempre asociado un grado de incertidumbre. Las proyecciones climáticas se hacen en base a una cascada de procesos (Figura 5), los que llevan asociados distintos niveles de incertidumbre. Un primer nivel de incertidumbre se relaciona con las distintas proyecciones de emisiones de GEI futuras basadas en supuestos de desarrollo socio-económicos, su conversión a concentración atmosférica y los efectos radiativos correspondientes.

El segundo nivel de incertidumbre se asocia a la simulación de la respuesta climática por los GCMs. Los modelos difieren considerablemente en sus estimaciones respecto a la intensidad en que cambiarán diversos procesos del sistema climático. Ésta incertidumbre se relaciona con la sensibilidad del modelo a los forzantes naturales, como también a las distintas capacidad de los modelos de simular las características climáticas. La incertidumbre será siempre mayor para resultados de mayor resolución espacial y para proyecciones en horizontes de tiempo lejanos. Un

último nivel de incertidumbre se da al incorporar técnicas de downscaling a las proyecciones entregadas por los GCMs. Ésta incertidumbre tiene fuentes de distinta naturaleza. Por un lado están las posibles diferencias en resultados vinculados al uso de distintos métodos, o distintos modelos regionales e imperfecciones en la representación de los procesos físicos. Por otro lado, existe una incertidumbre respecto a la información climatológica utilizada (datos históricos), que puede ser insuficiente por falta de estaciones meteorológicas en el área de estudio o por mala calidad de datos.

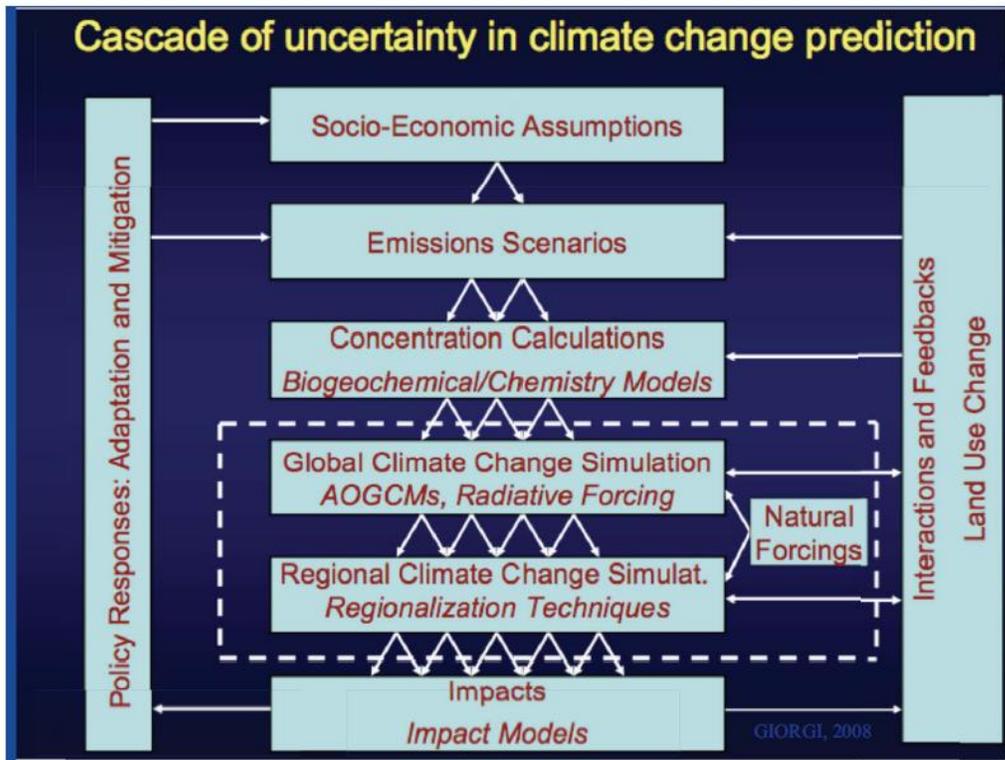


Figura 5. Representación de la “cascada de incertidumbres” en las proyecciones climáticas. Fuente: IPCC, 2007.

Cualquier decisión correspondiente a un proceso de adaptación al cambio climático debe tomar en cuenta la incertidumbre asociada a las proyecciones de cambio climático dado que la probabilidad de que una estrategia de adaptación determinada sea o no efectiva se relaciona directamente con los niveles de incertidumbre. En este sentido, es recomendable optar por enfoques de adaptación flexibles, que sean traducidos mediante estrategias que vinculen necesidades actuales de desarrollo y que posibiliten a la vez la adaptación al cambio climático. Estas son las llamadas estrategias “win-win”.

En suma, las proyecciones climáticas requieren del desarrollo y manejo de herramientas complejas, que permiten la obtención de resultados que se basan en probabilidades y no en certezas, por lo que cualquier decisión basada en ellos debe tomarse con cautela y sopesando siempre los potenciales beneficios en base a la incertidumbre correspondiente.

B. Amenazas del cambio climático en Chile.

De acuerdo al Estudio Regional de la Economía del Cambio Climático para Chile (CEPAL, 2012), el cambio climático potencialmente puede afectar un gran número de sectores productivos en el país, entre ellos las obras de infraestructura. Las proyecciones para Chile indican dos cambios fundamentales: una baja en las precipitaciones y un alza en las temperaturas. Dependiendo del escenario de emisiones de gases de efecto invernadero considerado, se proyecta que los mayores aumentos sean del orden de 2 a 4° C, asociándose estos mayores aumentos a la zona central de Chile, y siendo más marcados en la zona del valle central y la zona cordillerana. A modo de ejemplo, La Figura 6 muestra la proyección de temperatura considerada por el estudio de CEPAL (2012). En la figura se observan proyecciones estimadas para un periodo temprano (2010-2040), un periodo de mitad de siglo (2040-2070), y uno tardío (2070-2100), para el escenario de emisiones A2.

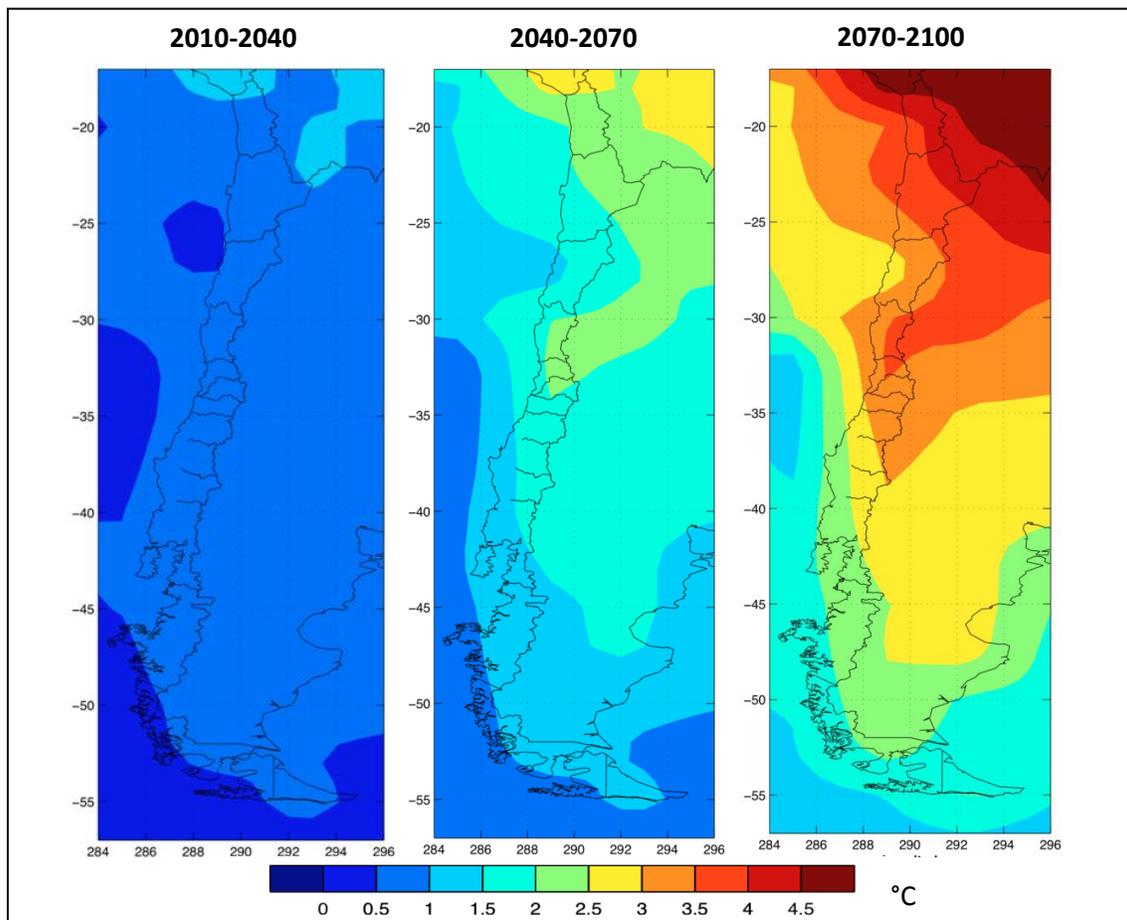


Figura 6. Proyecciones de temperatura en el escenario A2, cambio en grados Celsius sobre base histórica. Fuente: CEPAL (2012).

Estas proyecciones son coincidentes con las tendencias observadas por Falvey y Garreaud (2009), quienes detectaron un alza en las temperaturas medias monitoreadas por diversas estaciones meteorológicas durante las últimas 4 décadas, siendo la zona cordillerana y el valle central las zonas de aumento más marcado.

Las proyecciones asociadas a las precipitaciones presentan por lo general un mayor nivel de incertidumbre. En la Figura 7 se puede observar el descenso bastante marcado hacia el periodo tardío para la zona localizada entre las regiones de Antofagasta y Los Lagos, existiendo mayor incertidumbre para las zonas extremas del país.

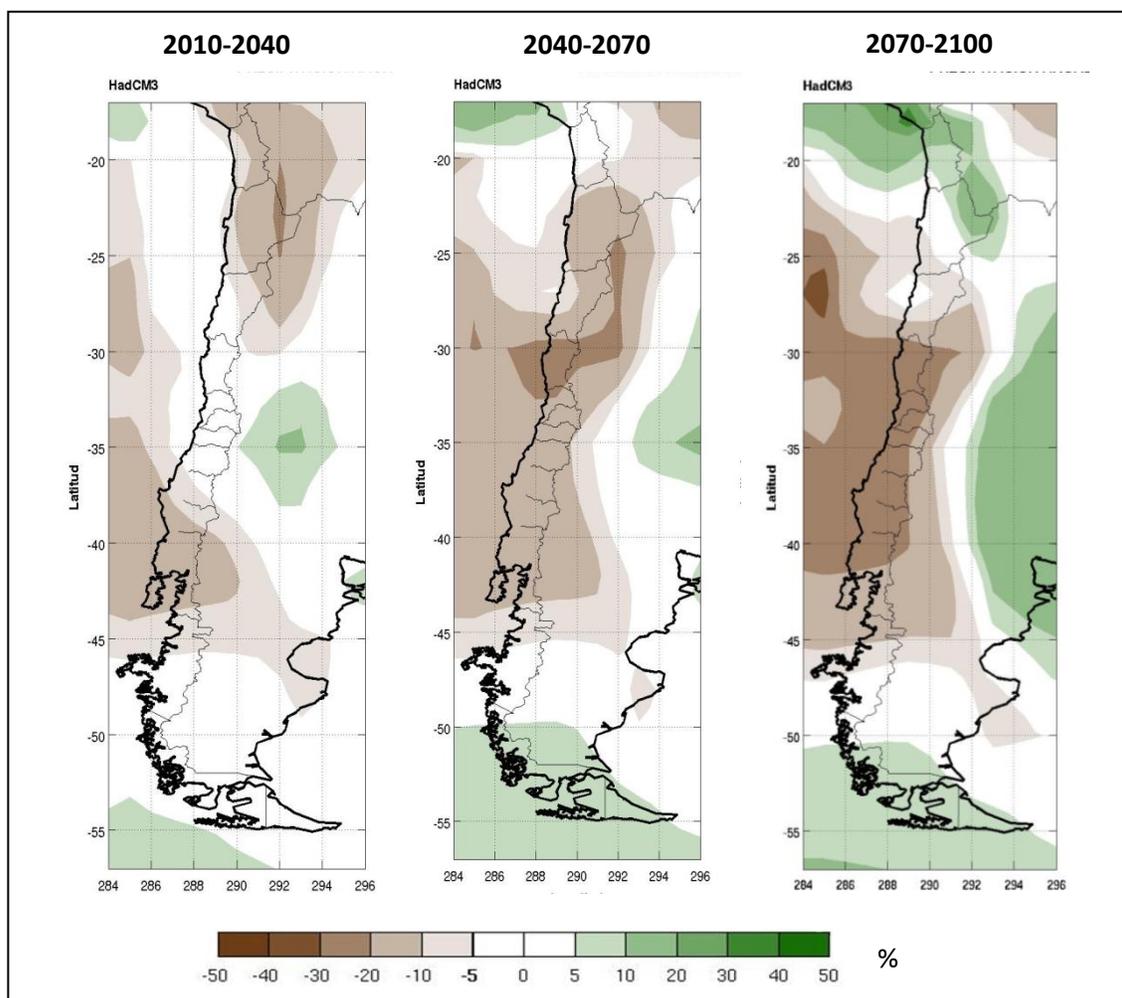


Figura 7. Proyecciones de precipitaciones en el escenario A2, cambio porcentuales sobre base histórica. Fuente: CEPAL (2012).

Quintana y Aceituno (2006) identificaron una tendencia histórica de disminución de precipitaciones, principalmente para la zona central de Chile, lo que coincide con las proyecciones mencionadas.

Las proyecciones climáticas aquí descritas se asocian a cambios que podrían potencialmente afectar las obras de infraestructura en Chile. Las principales amenazas que se desprenden de estos cambios son:

1. Aumento en extensión y magnitud de sequías
2. Aumento en intensidad en inundaciones fluviales
3. Aumento en intensidad en inundaciones costeras

Existen algunos ejemplos en la literatura que abordan este tipo de eventos extremos para Chile, cuya base se comenta a continuación, relacionando además su relevancia para el sector de la infraestructura.

1. Sequías

El cambio climático juega un rol fundamental sobre el ciclo hidrológico y en los patrones de disponibilidad de agua. Estudios revelan que los volúmenes de precipitación en la región de Los Andes se correlacionan de forma importante con la acumulación de nieves. Esta acumulación es a su vez determinante en los volúmenes de descarga de los ríos (Masiokas et al., 2006). Por otro lado, se ha visto que la temperatura está muy relacionada con los momentos en que se dan los máximos caudales de descarga (Segunda Comunicación Nacional, 2011). De esta forma, cambios como los que se han mencionado respecto a temperatura y precipitación afectarían directamente la magnitud y estacionalidad de los caudales.

La probabilidad de sequías futuras fue evaluada en el estudio CEPAL (2012). Tomando como definición de evento de sequía aquel periodo de 2 años seguidos en que las precipitaciones caen por debajo del percentil 20, se evaluó el número de eventos proyectado por varios modelos bajo un escenario de cambio climático, para periodos futuros de 30 años (temprano, medio y tardío). Para la zona centro y centro-norte del país, la tendencia general proyectada fue de un alza en el número probable de eventos de sequía, identificándose incluso zonas de sequía permanente hacia fines de siglo.

Los posibles impactos asociados a una reducción en niveles de precipitación y cambios en la disponibilidad de recursos hídricos han sido estudiados en una serie de cuencas del país. Uno de estos ejemplos es el de la cuenca del río Limarí. En esta cuenca se proyectan impactos en la posibilidad del desarrollo del sector agrícola de acuerdo a lo presentado en los trabajos de Vicuna et al. (2011 y 2012).

El caso de la cuenca del Maipo ha sido también estudiado. A través del proyecto FONDECYT 1090393 se modeló la hidrología superficial de la cuenca del Maipo a nivel semanal, proyectando decrecimientos de hasta un 50% en los volúmenes disponibles para un punto de la primera sección del río Maipo, y adelantamientos de entre 3 y 4 semanas en los máximos de caudal (Figura 8).

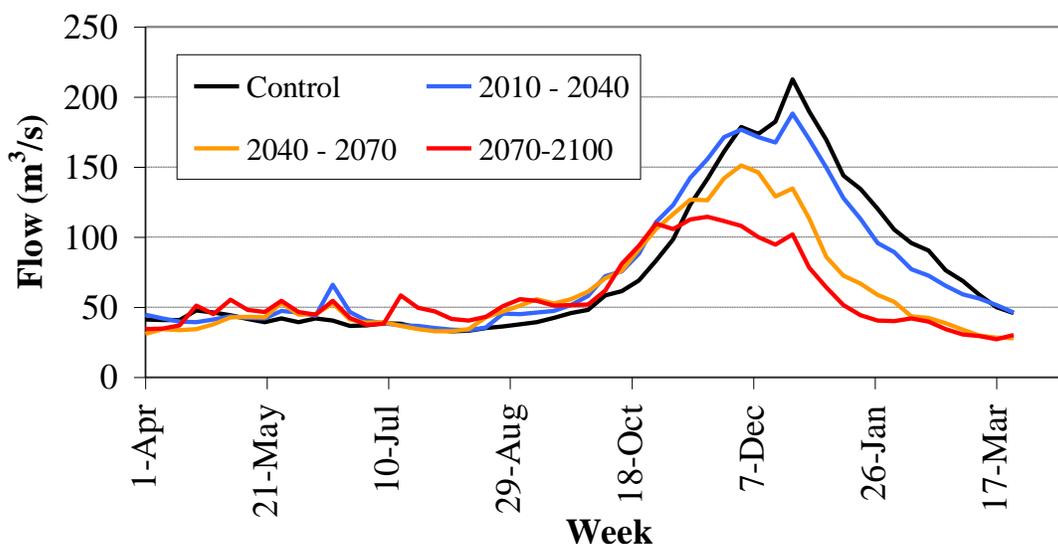


Figura 8. Maipo en San Alfonso. Caudal promedio anual para periodo control y 3 periodos futuros. Fuente: Proyecto FONDECYT 1090393.

No solo la población de gran parte de la zona central de Chile depende de los caudales superficiales para abastecer sus necesidades de consumo, sino también diversos sectores productivos (Agricultura, Minería, Industria). Consecuentemente, la infraestructura desarrollada por el MOP tal como las Obras de Riego, se ven amenazadas en el cumplimiento de su objetivo (disponibilidad de agua), siendo vulnerables al cambio climático.

2. Inundaciones fluviales

Un fenómeno de gran interés dado sus potenciales altos impactos es el de las inundaciones fluviales. Estas se dan como consecuencia de una crecida fluvial, la cual se puede originar por factores no sólo meteorológicos, sino también antrópicos, como puede ser el rompimiento de una presa o la descarga rápida a través de un vertedero. Una crecida puede definirse en función de 3 características principales:

- Crecimiento significativo de los caudales, y por ende de otras magnitudes físicas como la altura y ancho de escurrimiento, y muchas veces la velocidad.
- Ocurrencias en periodos relativamente breves, donde tanto el tiempo transcurrido durante el aumento de los caudales como durante la recesión pueden ser bastante cortos.
- Gran potencial de generar impactos negativos sobre la población, la infraestructura pública y privada, así como también otros usos de suelo de importancia económica (e.g. zonas agrícolas, plantas y faenas industriales, etc.).

Entendida como una amenaza de origen meteorológico, las crecidas se explican por un aumento significativo de la escorrentía aportante a un cauce o curso de agua. Este aumento puede deberse a un evento de precipitación líquida, o al derretimiento del manto nival. También puede ocurrir que indirectamente este tipo de fenómenos signifiquen la falla de una obra, lo que a su vez

significaría un aumento en los caudales. Cualquiera sea el caso, hay una vinculación directa con la ocurrencia de variaciones en una o las dos variables meteorológicas relevantes previamente discutidas: temperatura y precipitación. El aumento de temperaturas sin la ocurrencia de precipitación puede originar eventos de derretimiento de masas de nieve o hielo, las que típicamente no tienen un impacto mayor dado los tiempos de respuesta involucrados, aunque hay excepciones. Sin embargo, estudios recientes muestran que aumentos bruscos de temperatura podrían ser la causa, o al menos contribuir en parte al derretimiento y/o rotura de masas de hielo que contienen grandes volúmenes de agua líquida, lo que puede generar el vaciamiento de cuerpos de agua masivo en periodos muy cortos de tiempo. Este tipo de fenómeno es conocido en la literatura como Glacial-lake-outburst-flood (GLOF), y han ocurrido recientemente en la Patagonia Chilena. Dussaillant et al. (2009) estudian estos eventos y evalúan la posibilidad de la existencia de tendencias crecientes en su ocurrencia. En general, el efecto del cambio climático sobre la frecuencia de los GLOFs está actualmente siendo estudiado, y no hay conclusiones definitivas. Se espera que el aumento de las temperaturas provoque un mayor número de eventos (Marín et al, 2012).

El caso más tradicional de crecida generalmente sí está vinculado a la ocurrencia de un evento de precipitación. Ahora bien, dado que las crecidas con potencial de generar una inundación se explican por el escurrimiento de una gran cantidad de agua en tiempos relativamente cortos, es necesario entonces aclarar que éstas se pueden originar por tres motivos, los que además pueden darse simultáneamente: (1) una tormenta de inusual intensidad; (2) una alta saturación y bajo almacenamiento de la cuenca frente a un evento de precipitación, y (3) la ocurrencia de un evento de precipitación líquida sobre una porción significativa de la cuenca contribuyente, mayor a la típica. Esto último ocurre cuando el evento de precipitación coincide con temperaturas altas, lo que significa un aumento en la elevación de la isoterma cero (comúnmente se conoce a estos eventos como lluvias cálidas). Así entonces, una mayor proporción de la precipitación cae como agua líquida de escurrimiento inmediato, en desmedro de precipitación nival, la cual permanecería almacenada para su futuro derretimiento. En una situación de este tipo, no sólo la precipitación líquida contribuye a la escorrentía directa, sino que también parte de la nieve acumulada puede derretirse, tanto por las altas temperaturas como por la energía que significa el impacto sobre el manto de nieve de gotas de aguas. De esta manera, eventos de precipitación que pudiesen considerarse como no extremos pueden generar inundaciones fluviales extremas.

Un ejemplo de crecida provocadas por eventos cálidos es la que habría ocurrido el 23 de mayo del 2008, la que generó una inundación bastante inusual en el río Mataquito, VII región, a la altura de Licantén, cerca de la desembocadura en el Océano Pacífico. Esta crecida inutilizó la estación fluviométrica, por lo que sólo se tiene una estimación de la magnitud del caudal máximo instantáneo. La DGA (2008) estima un caudal instantáneo de 4.154,6 m³/s en esta ubicación en el momento en que la estación fue destruida. Por otra parte, el mismo estudio estima un valor del caudal máximo instantáneo del evento del orden de 7.000 – 8.000 m³/s. Esto significaría un caudal cuyo periodo de retorno con toda seguridad superó los 200 años. La Tabla 1 (Vicuña et al., in review) compara las condiciones meteorológicas promedio estimadas para la cuenca durante la ocurrencia de este evento con lo observado durante una crecida importante pero de menor magnitud, ocurrida el 27 de mayo del 2002. Se puede observar que para este último evento la precipitación fue de 20 mm más, pero las temperaturas fueron menores, lo que significó una elevación menor de la isoterma cero (i.e. 1700 m vs. 2200). El estudio de Vicuña et al. (in review) muestra que efectivamente estas diferencias en temperaturas y elevación de la línea de nieve pueden explicar, al menos en parte, el mayor caudal observado el 2008.

Tabla 1. Comparación de dos eventos de crecidas ocurridas en los años 2002 y 2008, Río Mataquito a la altura de Licantén (Fuente, Vicuña et al., in review)

	27 mayo 2002	23 mayo 2008
Precipitación últimas 48 horas (mm)	103,6	83,9
Caudal máximo diario (m ³ /s)	931	2690
T_{max} media (°C)	13,0	17,4
Elevación estimada de la línea de nieve (m)	1700	2200

Respecto a crecidas e inundaciones, CEPAL (2012) proyecta un decrecimiento en gran parte del país de los eventos más intensos de precipitaciones. Sin embargo también proyecta un aumento en la ocurrencia de eventos de alta precipitación en días con temperaturas elevadas. A modo de ejemplo, la Figura 9 compara dichas proyecciones para los años 2070-2099 (puntos en rojo) con lo observado entre los años 1970-1999 (puntos en azul) (CEPAL, 2012). Cada punto corresponde a un día de precipitación definido por su magnitud diaria y la temperatura del día. La comparación muestra que entre los paralelos 35°S y 38°S se espera una reducción de un poco más del 20% de los días con precipitaciones mayores a 30 mm (i.e. de 169 a 132 días), pero al mismo tiempo se proyectan casi 8 veces más eventos de esta magnitud ocurriendo con temperaturas mayores a los 12°C (i.e. un aumento desde 4 a 30 eventos). Tendencias de este tipo pueden tener un gran impacto en la frecuencia de crecidas e inundaciones fluviales causadas por las lluvias cálidas previamente descritas.

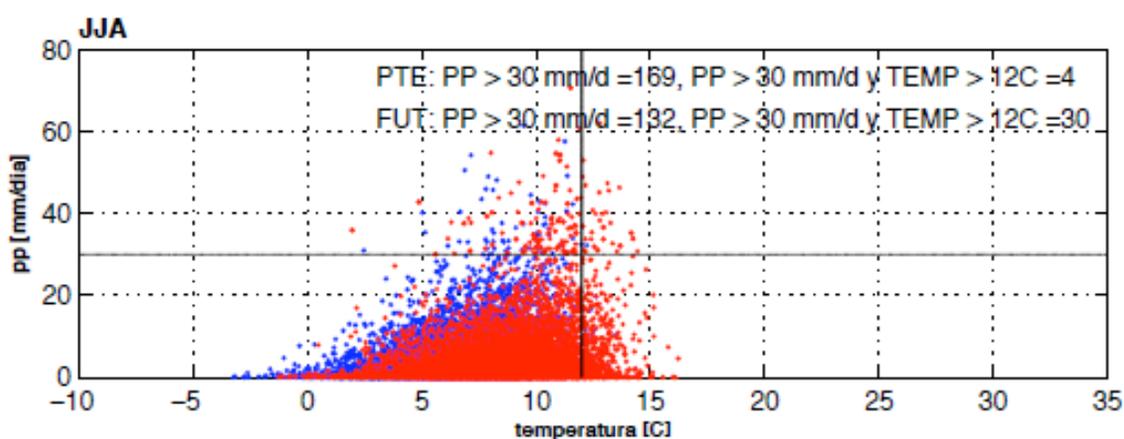


Figura 9. Comparación en los valores diarios de precipitación (mm/día) y temperatura promedio (°C) para días con precipitaciones entre los años 1970-1999 (azul) y 2070-2099 (rojo) entre los paralelos 35°S y 38°S. Fuente: CEPAL (2012)

Una gran cantidad de asentamientos urbanos y actividades económicas en nuestro país se ubican cercanos a los ríos, y en muchas ocasiones han llegado a ocupar parte de su zona inundable. Ciudades como Copiapó, Santiago, Talca y Concepción se ven atravesadas por ríos con hoyas contribuyentes significativas, y han sufrido en más de una ocasión de inundaciones. Similares

eventos ocurren en múltiples cauces de menor envergadura, muchos de ellos de carácter efímero, los cuales pueden llevar grandes caudales frente a eventos intensos de precipitación y generar problemas de inundación. A modo de ejemplo, un estudio de riesgo desarrollado por la Subdirección de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE, 2011) identificó una serie de poblados en la costa de las regiones VI y VII que pueden experimentar inundaciones por crecidas fluviales de cauces cuyas cuencas aportantes se encuentran en la cordillera de la costa.

3. Inundaciones costeras

El análisis de la información mareográfica disponible a nivel nacional, no permite concluir respecto de la existencia de tendencias de aumento del nivel del mar en las costas de Chile (Contreras et al., 2011). A lo largo de Chile existen variaciones tanto en el sentido de aumento como de la disminución, siendo estas variaciones en general pequeñas frente a los movimientos co-sísmicos que Chile experimenta luego de cada terremoto (ver por ejemplo Vargas et al., 2011). Por consiguiente, a partir de las observaciones empíricas disponibles en la actualidad no se ha detectado sobre las costas de Chile una influencia significativa del Cambio Climático en las variaciones locales del nivel medio del mar. Sin embargo, desde el punto de vista del clima de oleaje, sí parecieran existir tendencias al aumento de alturas de oleaje significativo y mayor frecuencia de los eventos de marejada (Molina et al., 2012). Esto sin embargo debiera confirmarse a través de análisis más acabados usando información de campo y en base a modelación numérica. También podrían existir algunos cambios en el periodo y la dirección del oleaje.

Otro aspecto que merece ser revisado con mayor detalle, es la relación que existe entre las anomalías asociadas a los fenómenos de la Niña/el Niño (ENSO), y las variaciones del nivel del mar e intensidad y frecuencia de marejadas. En la medida que estas oscilaciones de gran escala sean exacerbadas por el calentamiento global, es muy probable que la intensidad de los eventos extremos costeros también aumente.

Respecto de los efectos del cambio climático sobre las costas de América del Sur, existen estudios realizados a nivel internacional que plantean diversos escenarios futuros para las variaciones del nivel del mar que se podría experimentar a lo largo del Siglo XXI (CEPAL, 2011). En general, la tendencia de los modelos es hacia el alza, aunque con diferencias significativas entre la costa Atlántica y del Pacífico. La Figura 10 muestra las proyecciones del estudio Cepal (2011), en donde para los años 2010-2040 Chile aparece que una tendencia media de aumento del nivel del mar entre 2 y 3 mm/año, mientras que para el horizonte 2040-2070 se presentan aumentos 2,8 y 4 mm/año.

En relación a los escenarios futuros de climas de oleaje medio mensual, que son importantes para la operación portuaria, el estudio de la CEPAL (2011) indica que la tendencia general en la costa del Pacífico de América del Sur es al aumento (Figura 11). En el extremo sur de Chile, con un aumento importante que puede llegar a 1 cm/año. En las costas norte y centro-sur de Chile, estas variaciones serían menores, del orden de 2 a 3 mm/año. Los cambios esperados a nivel de climas de oleaje podrían también afectar otras variables importantes como son el periodo y dirección.

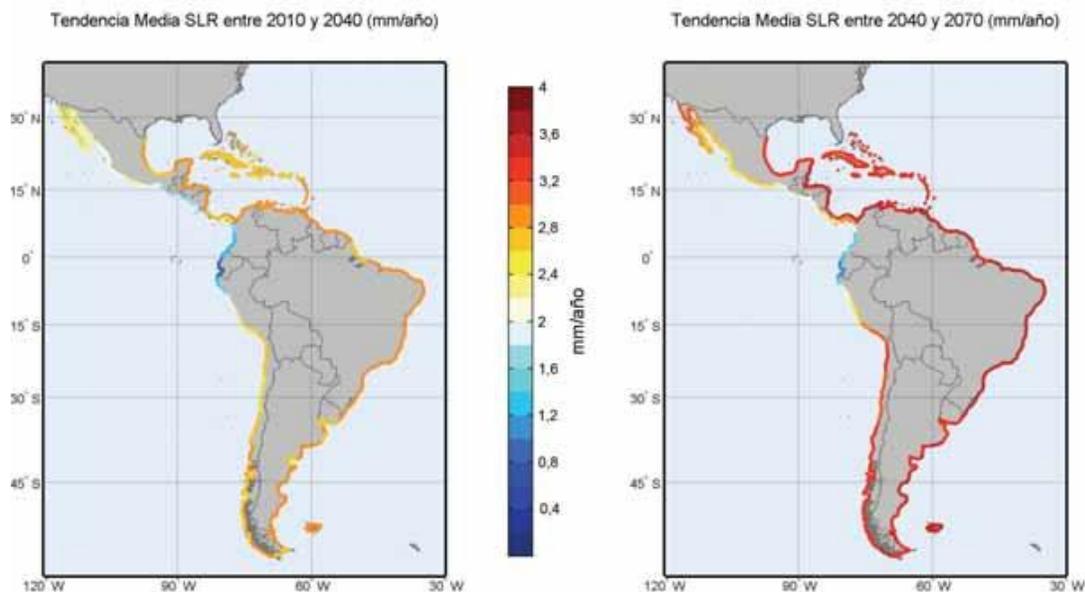


Figura 10. Tendencia media del nivel medio del mar en los periodos 2010-2040 (izquierda) y 2040-2070 (derecha) en milímetros por año. Fuente: Cepal (2011).

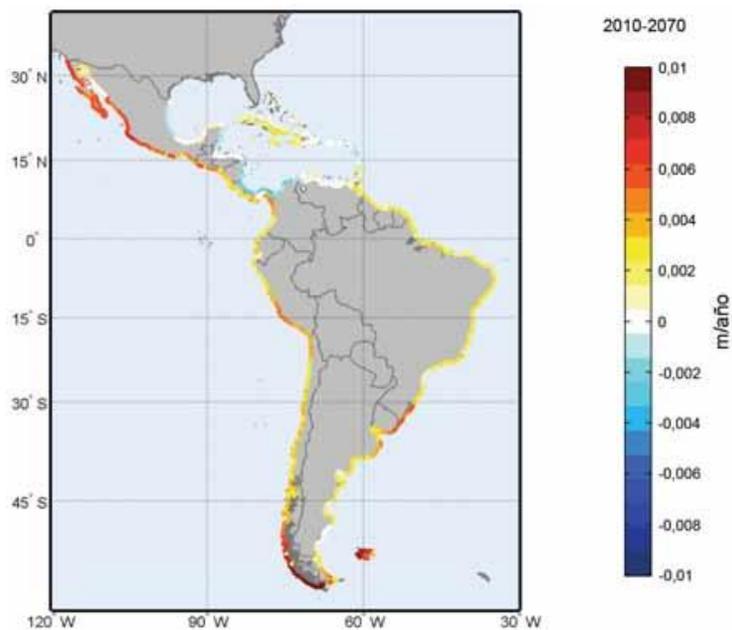


Figura 11. Tendencia media para el aumento de altura de ola significativa media mensual en el periodo 2010-2070 en metros por año. Fuente: Cepal (2011).

III. Análisis de desarrollo obras de infraestructura y relación con cambio climático

Los cambios en el clima y en eventos extremos mencionados en la sección anterior, representan una amenaza (o una oportunidad si el cambio es positivo) para distintas obras de infraestructura que tienen relación con las responsabilidades y funciones del MOP. Tal como fue mencionado en el marco conceptual, en algunos casos estas amenazas significan una vulnerabilidad para la obra propiamente tal (e.g. inundaciones costeras y obras portuarias), en otras implica una vulnerabilidad con respecto al objetivo para el cual se diseña la obra (e.g. disponibilidad de agua y obra de regadío) y finalmente la existencia de una obra de infraestructura puede implicar una reducción a una vulnerabilidad que se acentúa producto de la amenaza (e.g. nuevamente disponibilidad de agua y obra de regadío).

Considerando este grueso reconocimiento de sensibilidades, y con el objetivo de identificar cómo el cambio climático puede ser incorporado al desarrollo de una obra de infraestructura en particular, se optó por estudiar el ciclo de vida de distintas obras. Este enfoque permitió reconocer, en base a las distintas etapas del ciclo de vida de una obra (Planificación, Estudios de pre-factibilidad y factibilidad, Diseño, Ejecución y Operación) dos elementos fundamentales: los *organismos* responsables de cada etapa y los *procedimientos* mediante los cuales se puede desprender la manera en que las obras de infraestructura en cada una de estas etapas son evaluadas. En este sentido, es importante destacar que los impactos de eventos extremos asociados al cambio climático sobre obras de infraestructura pueden estar vinculados al desarrollo de funciones que van más allá de la influencia del MOP. Existe un grupo amplio de organismos involucrados, y dependiendo de la obra, los impactos del cambio climático pueden tener un carácter de mayor o menor transversalidad en su ciclo de vida. Por tanto, el análisis respecto a la incorporación del cambio climático en el desarrollo de obras de infraestructura debe abordar instancias correspondientes a cada componente del ciclo de vida, y no solamente a aquellas vinculadas a las funciones del MOP.

El estudio de los ciclos de vida de distintas obras fue posible gracias a la coordinación de reuniones entre el panel de expertos del Centro de Cambio Global UC y autoridades representantes de las distintas divisiones del MOP. En base a presentaciones del equipo CCG realizadas durante cada encuentro (ver Anexos I.I y I.II) se discutieron las distintas etapas que componen los ciclos de cada obra, vinculando potenciales asociaciones de cada etapa al cambio climático. A partir de lo aprendido durante estas reuniones se optó por seleccionar 6 tipos de obras que podrían verse afectadas, tomando como base los antecedentes de cambio climático para el país. La selección de las obras sujetas a análisis fue realizada en función de las reuniones con la Direcciones y en acuerdo con la Inspección Fiscal.

Las obras seleccionadas son las siguientes:

- Obras de riego
- Evacuación y drenaje de aguas lluvia
- Sistemas de Agua Potable Rural
- Puentes / proyectos viales interurbanos

- Infraestructura portuaria de ribera
- Obras para manejo de cauces.

Para el análisis de cada obra se estudiaron distintos documentos disponibles. Entre otros, esta revisión se basó en las Estrategias Regionales de Desarrollo (SUBDERE, 2012), Planes de Infraestructura y gestión de Recursos Hídricos (DIRPLAN, 2012), el Manual para el Desarrollo de Grandes Obras de Riego (CNR, 2011), el módulo de cambio climático utilizado en Términos de Referencia correspondientes a la Dirección de Obras Hidráulicas (para embalses de riego), las Metodologías de Evaluación Social para distintas obras (Ministerio de Desarrollo Social, 2012), Planes Maestros para el manejo de Aguas Lluvia y el Manual de Carreteras (MOP, 2012). La información extraída de las reuniones sostenidas fue procesada y confirmada en un taller de validación en el que participaron conjuntamente representantes de todas las divisiones (ver Anexo II). El análisis para cada una de las obras mencionadas se presenta a continuación.

A. Obras de Riego

Dentro de las obras de infraestructura relacionadas con riego se distinguen los siguientes tipos: obras de captación, derivación, conducción, distribución, regulación, trabajos de aplicación y obras de drenaje (CNR, 2011) (ver Figura 12 y tabla 2).

El proceso estratégico de decisión de construcción se inicia en procesos paralelos que relacionan las necesidades a nivel regional político y a nivel de cuenca (Estrategia Regional de Desarrollo-ERD, Plan Regional de Ordenamiento Territorial-PROT, Planes Directores de Cuenca) con estrategias a nivel nacional asociadas a necesidades de infraestructura de riego (Política Nacional de Riego). Estos procesos desembocan finalmente en un Plan Regional de Infraestructura y gestión de Recursos Hídricos. A través de estos documentos se establecen las relaciones entre la vocación productiva de la región con las condiciones de disponibilidad de recursos hídricos. El horizonte de evaluación de estos planes es variable. En todos los casos no supera los 30 años. Sin perjuicio de lo anterior hay obras (en especial obras de captación y algunas obras de conducción) que son decididas a través de este proceso de decisión estratégica y cuyo horizonte de operación supera en creces dicho periodo. En el caso de un embalse, por ejemplo, la vida útil puede llegar a ser de 100 años. Esto no es así para obras menores como obras de distribución y obras de drenaje.

Considerando el horizonte de operación de las obras mayores de captación, regulación y conducción como a su vez los posibles impactos del cambio climático (efectos en la disponibilidad de agua y efectos en la productividad agrícola) es posible considerar que tanto en el proceso estratégico de decisión de las necesidades productivas agrícolas, las necesidades de riego asociadas así como también los análisis de disponibilidad hídrica tienen relación con escenarios de cambio climático. En algunos casos este tipo de relación ya ha sido considerado pero solo de manera indicativa a modo de diagnóstico futuro. Este es el caso de los Planes Directores de Cuenca donde se ha incorporado recientemente la necesidad de considerar escenarios de disponibilidad de agua en escenarios futuros asociados a cambio climático. Sin embargo, este tipo de información no se utiliza en otros procedimientos (tales como ERD, PROT y políticas asociadas como la Política Nacional de Riego) que deberían indicar la disponibilidad futura de agua asociada a este tipo de obras. No se considera tampoco en el análisis de necesidad desde la perspectiva agrícola escenarios de productividad de cultivos futuros. A nivel estratégico ambos aspectos son claves para definir la necesidad futura de obras como embalses y obras de conducción.

Una vez definida la necesidad estratégica de construir una obra como un embalse se debe proceder a evaluar su pre-factibilidad y posteriormente su factibilidad. En este caso, el uso de escenarios futuros podría alterar los beneficios futuros asociados a la construcción de las obras de regadío sin embargo escenarios de cambio climático no son considerados en la Metodología De Evaluación Social de Proyectos para Embalses Multipropósito definida por el Ministerio de Desarrollo Social. En esta misma fase de pre-factibilidad y factibilidad, tanto el documento Manual Para el Desarrollo de Grandes Obras de Riego, y en particular la Metodología para la formulación y evaluación socioeconómica de embalses y obras hidráulicas anexas con fines múltiples incluyen un análisis de escenarios futuros solo a modo de diagnóstico (similarmente al caso del Plan Director de Cuencas) pero no consideran de manera formal estos escenarios en el análisis de los beneficios futuros asociados a la construcción del embalse, ejercicio que se realiza tomando en cuenta series climáticas históricas. Los escenarios climáticos considerados deberían incidir en varios aspectos que se definen en esta etapa tales como el tamaño óptimo del embalse, así como también los cambios en la seguridad de riego de hectáreas bajo riego o si fuese el caso el número de hectáreas adicionales que es posible de regar. Es importante destacar que este Manual no es vinculante en el desarrollo de las distintas etapas del ciclo.

Si el análisis de pre-factibilidad y posteriormente de factibilidad genera un resultado positivo se pasa a la etapa de diseño definitivo de la obra. Esta etapa no cuenta con un protocolo o manual metodológico utilizándose típicamente Términos de Referencia en base a estudios de diseño previos. Recientemente estos TDR han incluido la necesidad de considerar el llamado *módulo de cambio climático* que exige la generación de un escenario futuro climático en base al trabajo de DGF-CONAMA (2007). Esto implica la generación de un escenario para el periodo 2070-2100 en base al escenario HadCM3-A2. No queda claro cuál es el uso que se le da a este escenario en el diseño final del embalse. No se considera en este sentido necesidades en base a escenarios climáticos futuros en cuanto a obras de evacuación de crecidas por ejemplo.

Una vez construido el embalse, su operación es traspasada a los usuarios (regantes, generadores de electricidad o sanitarias) quienes típicamente generan manuales de operación en base a las condiciones hidrológicas históricas pese a la posibilidad de considerar escenarios climáticos futuros.

En la figura 12 se identifican las diferentes instituciones u organismos que participan de alguna manera en cada etapa del ciclo de vida de la obra, y el documento o procedimiento que grafica la etapa. La tabla 2 complementa esta figura, incorporando información sobre los horizontes de evaluación considerados para cada procedimiento.

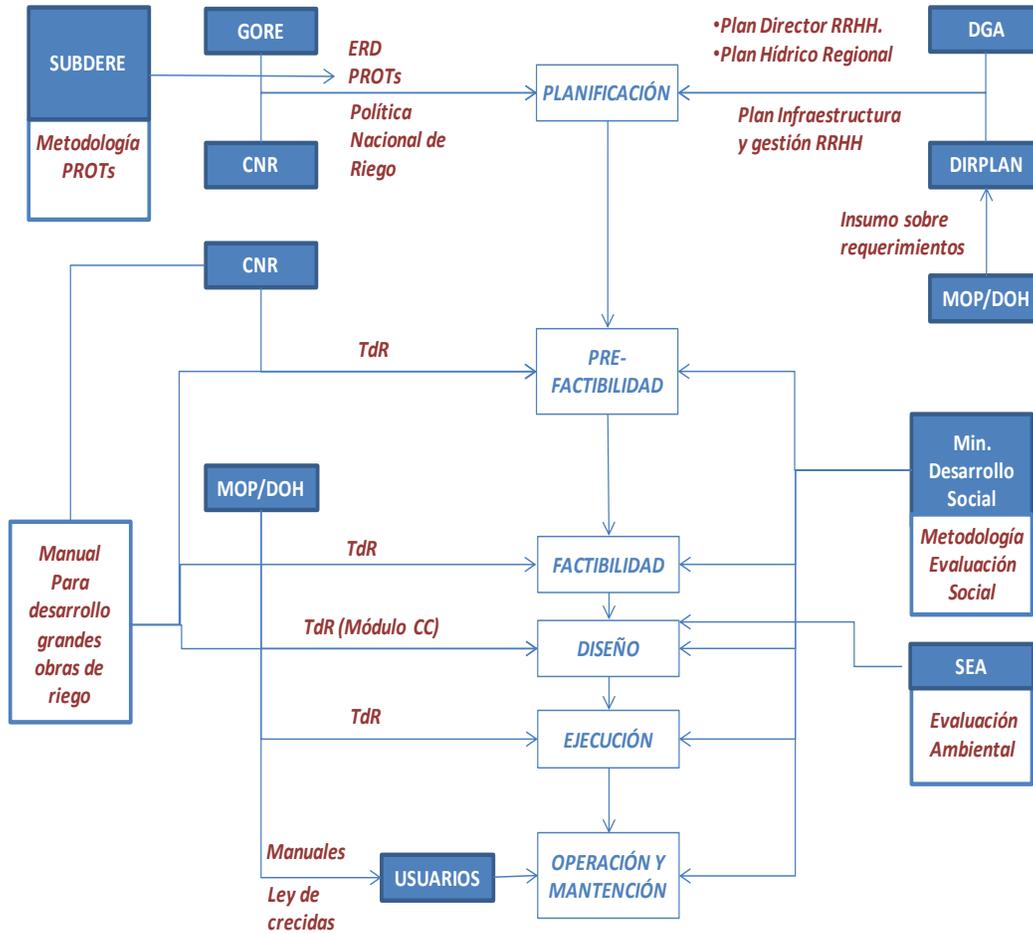


Figura 12. Ciclo de vida Obras de Riego. Organismos y procedimientos por etapa.

Tabla 2. Horizontes de evaluación y potencial incorporación de cambio climático en los procedimientos correspondientes a cada etapa del ciclo de una Obra de Riego.

CICLO	INSTITUCIÓN	MARCO LEGAL / PROCEDIMIENTO	HORIZONTE EVALUACION (Años)	
			Planificación	Social
PLANIFICACIÓN	GORE	ERD	7-21	
		PLAN REGIONAL DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL	10	
	DGA	PLAN DIRECTOR GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS	20	
	MOP-DOH	INSUMO DE REQUERIMIENTOS A DIRPLAN	-	
	MOP-DIRPLAN	PLAN REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA Y GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO	Plan: 7 Obra: No Aplica	
	CNR	POLITICA NACIONAL DE RIEGO	NO DISPONIBLE	
PREFACTIBILIDAD / FACTIBILIDAD	MINISTERIO DESARROLLO SOCIAL	EVALUACIÓN SOCIAL PROYECTOS Embalses multipropósito		25-50
	CNR	MANUAL GRANDES OBRAS DE RIEGO		25-50
		TDR Pref.		25-50
	MOP -DOH	TDR Fact.		25-50
DISEÑO	SEA	EVALUACIÓN AMBIENTAL	-	-
	MOP-DOH	TDR-Módulo Cambio Climático	60-90 ²	
OPERACIÓN / MANTENCIÓN	REGANTES / USUARIOS	MANUALES OPERACIÓN- LEY CRECIDAS	Evaluación en base a Periodos de retorno	

² Este módulo establece como requerimiento incorporar escenarios climáticos tomando como input de data climatológica el modelo PRECIS, el cual contiene información para el periodo futuro 2070-2100.

B. Obras de Drenaje y Evacuación de Aguas Lluvia

En Chile, el drenaje urbano es regulado desde 1997 por la Ley N° 19.525 que “Regula Sistemas de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias”. A grueso modo, los alcances de esta ley son los siguientes:

- El Estado velará por que en las ciudades y en los centros poblados existan sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias (AA.LL.) que permitan su fácil escurrimiento y disposición, con objeto de impedir el daño que éstas puedan causar a las personas, a las viviendas y, en general, a la infraestructura urbana.
- Los sistemas de drenaje (especificados como “sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias”) se separan en la red primaria y la red secundaria. La planificación, estudio, proyección, construcción, reparación, mantención y mejoramiento de la red primaria corresponderá al MOP. La red secundaria estará a cargo del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) a quien le corresponderá, directamente, su planificación y estudio y, a través de los Servicios de Vivienda y Urbanización (SERVIU), la proyección, construcción, reparación y mantención de la misma. Las actividades del MINVU en drenaje urbano y la red secundaria deben estar en concordancia con el respectivo plan maestro y con las normas que al respecto dicte el MOP.
- Se encomienda al MOP el desarrollo de Planes Maestros (PMs) para los centros poblados de más de 50.000 habitantes. El PM definirá la red primaria, y, por exclusión, la red secundaria quedará conformada por los elementos no considerados. Estos PMs, así como la coordinación de las actividades de drenaje deben considerar la situación de las cuencas hidrográficas, aunque no se establece formalmente el cuándo ni el cómo abordar los grandes cursos de agua que escurren por las ciudades. El PM debe ser aprobado por decreto supremo firmado por el MOP y el MINVU. Actualmente sólo 16 de los 33 Planes Maestros ejecutados cuentan con decreto de aprobación.
- Las urbanizaciones están obligadas a contar con una red de colectores sólo una vez aprobado el PM de la correspondiente área. Así mismo, los sumideros conectados a redes de aguas servidas tendrán 5 años para ser reconectados a la red de colectores una vez ésta exista.

Luego del hito de la promulgación de la Ley 19.525, otros cambios institucionales han ocurrido al interior del MOP para abordar los temas de AA.LL. y drenaje urbano que le competen. Así entonces, y por Resolución DOH N° 2546 (12 de Junio de 2000), se creó la Subdirección de Aguas Lluvias con carácter funcional, con el objeto de (1) asesorar a la Dirección Nacional en la confección de los PMs, proyección y construcción de obras de conducción y drenaje de AA.LL., (2) la explotación y mantenimiento de éstas, y (3) la coordinación de estas materias entre el MOP y el MINVU. La Subdirección de Aguas Lluvias a su vez consta con los Departamentos de Proyectos y de Construcción. Posteriormente, por Resolución DOH N° 5631 (26 de Noviembre de 2001), se radicó en esta Subdirección la dependencia del Departamento de Obras Fluviales. Finalmente, mediante Resolución DOH N° 5638 (05 de Agosto de 2010), se denomina “División de Cauces y Drenaje Urbano” a la “Subdirección de Cauces y Drenaje Urbano”.

Para cumplir con el cometido indicado por la Ley 19.525, la DOH, a través de sus Departamentos de Proyectos y de Construcción de Sistemas de Aguas Lluvias y de las 15 Direcciones Regionales, desarrolla las siguientes acciones orientadas a mitigar los problemas y perjuicios económicos

generados por las inundaciones, que se traducen en riesgos para la población, viviendas, el equipamiento, y la infraestructura:

- **Planes Maestros:** Que corresponde al estudio del drenaje de una ciudad o localidad para planificar, en un horizonte de largo plazo (típicamente 30 años), las soluciones de aguas lluvias requeridas, definiendo la red primaria.
- **Estudios de Factibilidad y Diseños de Ingeniería Definitiva:** Hace referencia a soluciones técnicas específicas en la red primaria para resolver los problemas de drenaje urbano de una zona, de la manera más económica y eficiente posible.
- **Obras de Evacuación de Aguas Lluvias:** Construcción de las obras proyectadas.
- **Conservación y Mantenimiento de la Red Primaria:** Mantenimiento de las obras construidas.
- **Revisiones Técnicas de Proyectos Externos de Red Primaria:** La DOH realiza la evaluación técnica de proyectos de evacuación de aguas lluvias presentados por entidades públicas y privadas, y aprueba aquellos que cumplen con los requisitos exigidos. El consultor propone que las consideraciones a tener en cuenta para la aprobación cuente con los mismos estándares de los estudios y diseños elaborados por la DOH, incluidos aquellos relacionados con Cambio Climático que se pudiesen tener en cuenta a partir de este estudio.

En los casi 15 años de vida de Ley 19.525, la DOH desarrolló los PMs encomendados para ciudades con 50.000 habitantes o más. Estos PMs consideran un horizonte de estudio de 30 años y contienen estudios básicos de hidrología, hidráulica y el análisis de las alternativas de solución consideradas para cada sistema primario, incluyendo las correspondientes evaluaciones socioeconómicas de las alternativas consideradas, y una priorización de las soluciones propuestas. A la fecha, se han desarrollado 33 PMs que abarcan una cantidad mayor de ciudades (más del 80% de la población nacional). Los PMs se han aprobado con carácter indicativo, lo que permite una flexibilidad en el cumplimiento de los criterios de diseño y en la planificación de las soluciones recomendadas en esos estudios. Como contrapartida, al no tener carácter mandatorio, los urbanizadores no están obligados a hacer suyas las soluciones de drenaje de aguas lluvias propuestas para los nuevos loteos. Otra desventaja importante es sin duda la vinculación inexistente con los planes de ordenamiento territorial, los cuales no están obligados a incorporar la planificación del drenaje urbano definida en el PM.

En estos PMs, se han definido como redes primarias a todas aquellas vías superficiales y subterráneas que conducen o controlan la escorrentía principal de la ciudad. Como parte de esa red primaria, se han incluido a los cauces naturales que atraviesan la zona urbana, exceptuando aquellos asociados a cuencas grandes como por ejemplo el río BíoBío o el Mapocho. También se incluyen quebradas, canales, lagunas o estanques de regulación, obras de retención de sedimentos y colectores que drenan áreas públicas, mayores a determinado diámetro (del orden de los 600 mm), o sección rectangular equivalente y mayores a cierta longitud. Además, se ha definido como parte de la red primaria los colectores unitarios, en algunos casos, de forma independiente de su sección.

De acuerdo a las normativas y procedimientos establecidos para la aprobación de inversión pública, los proyectos de aguas lluvias deben cumplir con las exigencias establecidas en el Sistema

Nacional de Inversiones (SNI) que administra el Ministerio de Desarrollo Social. De acuerdo a ello, las iniciativas de inversión que pasen a la fase de ejecución deben cumplir con un sustento técnico adecuado, rentabilidad social, cumplimiento de las normativas ambientales y haber sido bien valorados por la sociedad mediante procesos de participación ciudadana. La evaluación socioeconómica se realiza mediante la *Metodología de preparación y evaluación de proyectos de evacuación y drenaje de aguas lluvias*, del Ministerio de Desarrollo Social, elaborada en tiempos de MIDEPLAN. Esta metodología considera los beneficios como el valor económico esperado de los daños evitados durante la vida útil del proyecto.

En la figura 13 se identifican las diferentes instituciones u organismos que participan de alguna manera en cada etapa del ciclo de vida de la obra, y el documento o procedimiento que grafica la etapa. La tabla 3 complementa esta figura, incorporando información sobre los horizontes de evaluación considerados para cada procedimiento.

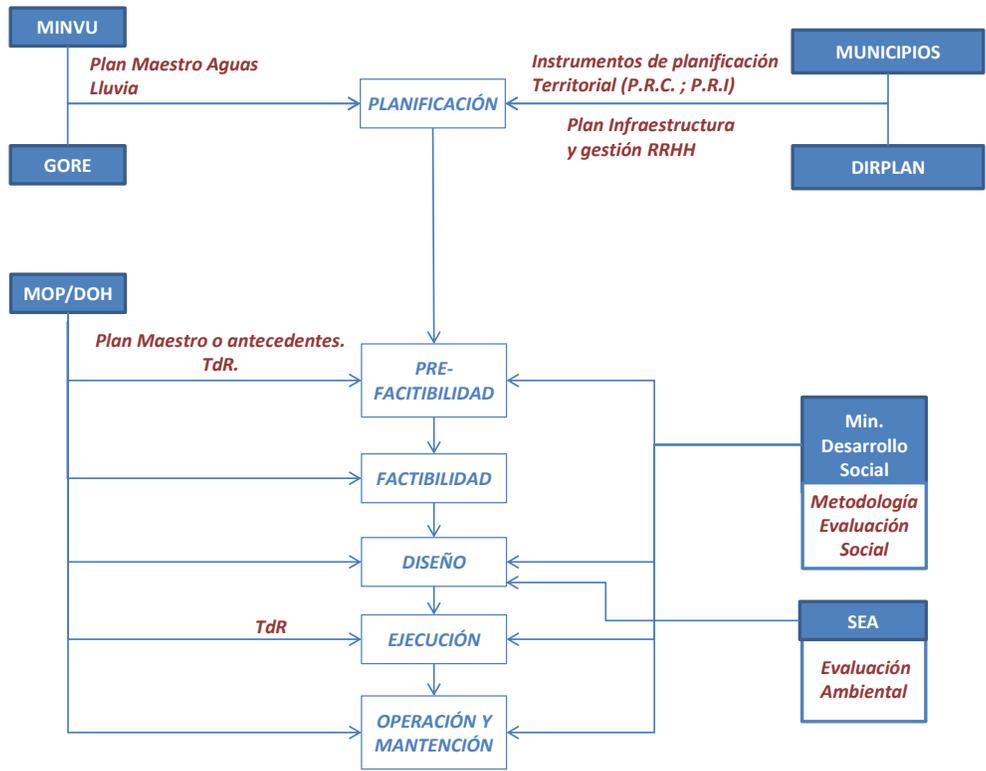


Figura 13. Ciclo de vida Obras de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvia. Organismos y procedimientos por etapa.

Tabla 3. Horizontes de evaluación y potencial incorporación de cambio climático en los procedimientos correspondientes a cada etapa del ciclo de una Obra de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvia.

CICLO	INSTITUCIÓN	MARCO LEGAL / PROCEDIMIENTO	HORIZONTE EVALUACION (Años)	
			Planificación	Social
PLANIFICACIÓN	MOP-DIRPLAN	<i>PLAN REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA Y GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO</i>	7	
	MINVU	<i>PAN MAESTRO DE AGUAS LLUVIAS</i>	-	
PREFACTIBILIDAD / FACTIBILIDAD	MINISTERIO DESARROLLO SOCIAL	<i>METODOLOGÍA DE PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE EVACUACIÓN Y DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS</i>		30
	MOP-DOH	<i>PLANES MAESTROS DE EVACUACIÓN Y DRENAJE DE LAS AGUAS LLUVIAS</i>		30
DISEÑO	MOP-DOH	<i>TDR</i>		30
OPERACIÓN / MANTENCIÓN	MOP-DOH	-	NO APLICA	

C. Obras Manejo de Cauces

Entre las obras de manejo de cauces se incluyen las obras de defensa y protección de riberas, las defensas longitudinales, los espigones, obras de protección en estribos de puentes y obras de control aluvional (DOH, 2012). Como se observa en la Figura 14, distintos organismos aportan en la fase de planificación. Por un lado, la DGA incluye este tema en los Planes Hídricos Regionales³. Se espera desarrollar Planes Hídricos Regionales en todas las regiones, esto es parte de la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos que presentó la actual Ministra de Obras Públicas (anteriormente subsecretaria), en el II Cumbre de Sustentabilidad Hídrica del año 2012. Actualmente se están desarrollando en la región de Coquimbo, Tarapacá y Antofagasta. Por otro lado, el documento Plan Regional de Infraestructura y Gestión de Recursos Hídricos, elaborado por el DIRPLAN, identifica las brechas regionales en relación a este tipo de obras. Esta información se complementa con insumos entregada por la DOH sobre los requerimientos establecidos a nivel de Municipios. El horizonte de evaluación para los Planes Regionales de Infraestructura y Gestión de Recursos Hídricos es por lo general de 7 años (ver tabla 4), mientras que este dato no fue identificado para los Planes Hídricos Regionales.

La DOH es el organismo responsable de las etapas de pre-factibilidad, factibilidad, diseño y ejecución. Por lo general, las obras son concesionadas a terceros, basando el desarrollo de estas etapas en TDRs. Si bien la metodología de evaluación del Sistema Nacional de Inversiones establece usar un horizonte de evaluación no mayor a 30 años, las características técnicas de realizar obras de este tipo son menos complejas que para otras obras aquí analizadas (e.g. Embalses), de menor costo y a su vez más flexibles, por lo que es poco probable que los horizontes realmente utilizados superen los 10 años. Las obras de control aluvional pueden ser la excepción a esto último, debido a un mayor trabajo de ingeniería y costo asociado.

³ Los planes hídricos regionales están siendo desarrollados y no estuvieron disponibles para su análisis a la fecha de elaboración de este informe

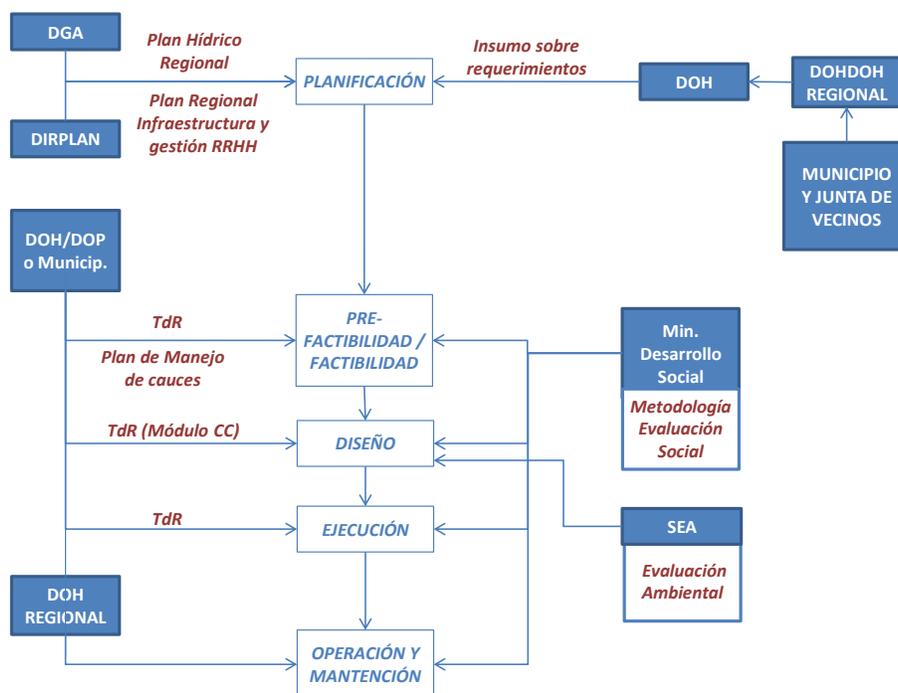


Figura 14. Ciclo de vida Obras de Manejo de Cauces. Organismos y procedimientos por etapa.

Tabla 4. Horizontes de evaluación y potencial incorporación de cambio climático en los procedimientos correspondientes a cada etapa del ciclo de una Obra de Manejo de Cauces.

CICLO	INSTITUCIÓN	MARCO LEGAL / PROCEDIMIENTO	HORIZONTE EVALUACION (Años)	
			Planif.	Social
PLANIFICACIÓN	MOP-DIRPLAN	PLAN REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA Y GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO	7	
	DGA	PLAN HÍDRICO REGIONAL ⁴	-	-
	MOP-DOH	INSUMO SOBRE REQUERIMIENTO	-	-
PREFACTIBILIDAD / FACTIBILIDAD	MINISTERIO DESARROLLO SOCIAL	METODOLOGÍA DE PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE DEFENSAS FLUVIALES		30
	MOP-DOH	PLANES DE MANEJO DE CAUCES		30
DISEÑO	MOP-DOH	TDR		30
OPERACIÓN / MANTENCIÓN	MOP-DOH	-	-	-

⁴ Los planes hídricos regionales están siendo desarrollados y no estuvieron disponibles para su análisis a la fecha de elaboración de este informe.

D. Sistemas de Agua Potable Rural (APR)

Los sistemas de agua potable rural son aquellos que se prestan en zonas no urbanas, definidas por el Plan Regulador de cada comuna. El desarrollo de sistemas de APR se enmarca en el Programa de Agua Potable Rural de la Dirección de Obras Hidráulicas del MOP, el cual depende de los fondos de Iniciativa de Inversión (ex ISAR), los cuales son anualmente entregados a la DOH. Cada año, la DOH informa a los Gobiernos Regionales los proyectos posibles de ser ejecutados. Los Gobiernos Regionales mediante sus respectivos Consejos, priorizan esta lista de proyectos para su posterior ejecución.

Los Planes Regionales de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico incorporan el proceso estratégico de decisión respecto a la construcción de sistemas de Agua Potable Rural. En estos planes regionales se genera un diagnóstico de la situación actual relativa a sistemas de agua potable rural, así como también las brechas y la proposición de proyectos estratégicos para superar estas brechas.

El desarrollo de la etapa de Pre-factibilidad de un proyecto en particular es adjudicado a terceros mediante los Términos de Referencia correspondientes. En general, los productos de la Etapa de Pre-factibilidad deben estar en concordancia con lo señalado por el SNI, para proyectos de Agua Potable Rural (Metodología de Proyectos de Agua Potable Rural - Ministerio de Desarrollo Social). El organismo demandante para el desarrollo de esta etapa suele ser el Ministerio de Obras Públicas mediante la Dirección de Obras Hidráulicas. En ocasiones, el organismo demandante es directamente la Municipalidad de la comuna en la que existe el requerimiento del estudio. El objetivo general de esta etapa de Pre-factibilidad es disponer física (cuando corresponda) y legalmente de una fuente de abastecimiento de agua, que garantice el caudal necesario para satisfacer la demanda de la comunidad a beneficiar, con la operación del Sistema de Agua Potable a construir y todos los antecedentes para la posterior postulación de la etapa de Diseño del proyecto, en los términos requeridos por el Sistema Nacional de Inversión Pública, a financiamiento con recursos del FNDR.

En la figura 15 se identifican las diferentes instituciones u organismos que participan de alguna manera en cada etapa del ciclo de vida de la obra, y el documento o procedimiento que grafica la etapa. La tabla 5 complementa esta figura, incorporando información sobre los horizontes de evaluación considerados para cada procedimiento.

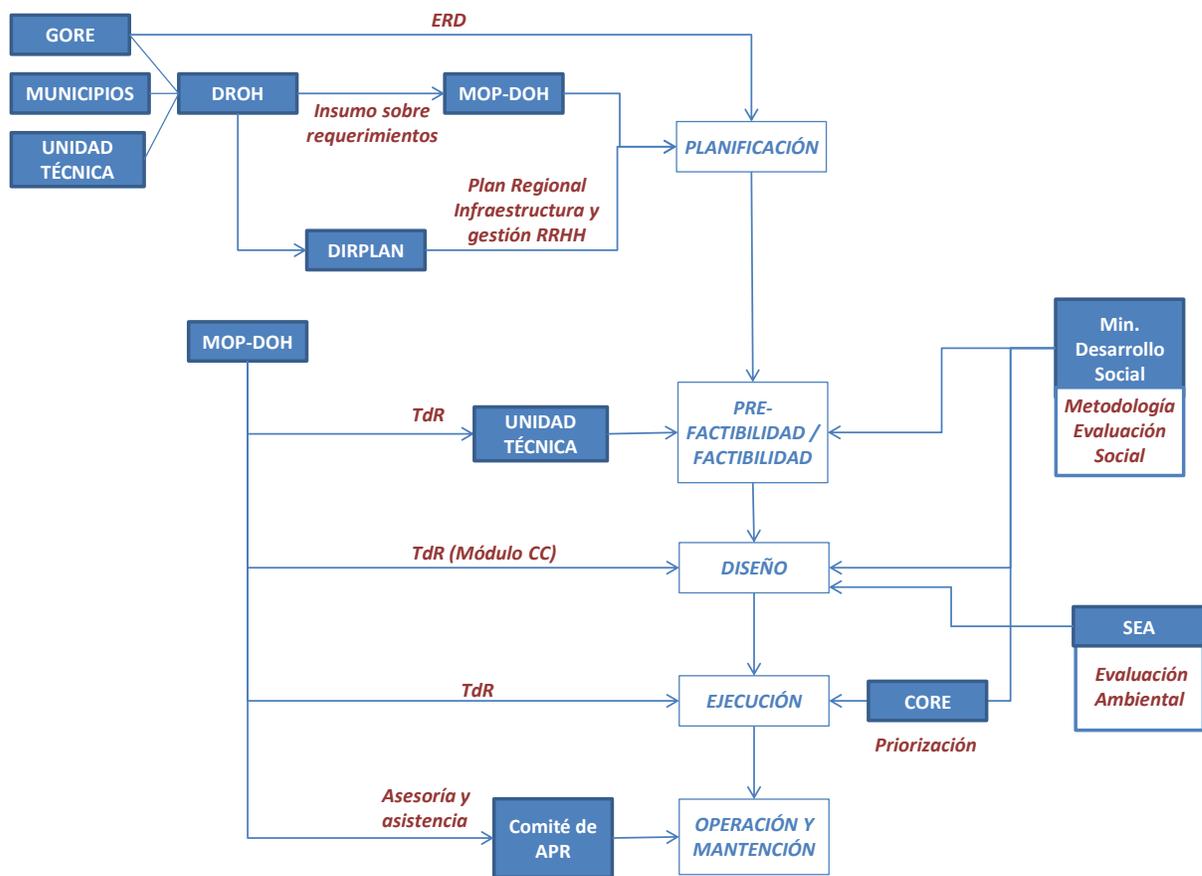


Figura 15. Ciclo de vida Obras de Infraestructura para Sistemas de Agua Potable Rural. Organismos y procedimientos por etapa.

Tabla 5. Horizontes de evaluación y potencial incorporación de cambio climático en los procedimientos correspondientes a cada etapa del ciclo de un Sistema de Agua Potable Rural.

CICLO	INSTITUCIÓN	MARCO LEGAL / PROCEDIMIENTO	HORIZONTE EVALUACION (Años)	
			Planif.	Social
PLANIFICACIÓN	GORE	ESTRATEGIAS REGIONALES DE DESARROLLO	7-21	
	MOP-DIRPLAN	PLAN REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA Y GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO	7	
	MOP-DOH	RECOGE INSUMO SOBRE REQUERIMIENTOS POR PARTE DE UNIDADES TÉCNICAS, MUNICIPIOS Y GORE	-	
PREFACTIBILIDAD / FACTIBILIDAD	MINISTERIO DESARROLLO SOCIAL	METODOLOGÍA PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE AGUA POTABLE		20-30
	UNIDADES TÉCNICAS	DESARROLLO ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD /FACTIBILIDAD, EN BASE A TDR GENERADO EN MOP-DOH		20-30
DISEÑO	MOP-DOH	TDR		20-30
OPERACIÓN / MANTENCIÓN	COMITÉ DE APR	MANUAL ASPECTOS ORGANIZACIONALES DE UN COMITÉ DE AGUA POTABLE RURAL	-	-

E. Puentes / Proyectos viales interurbanos

El Plan Director de Infraestructura 2010-2025 del Ministerio de Obras Públicas (MOP, 2010) reconoce el importante rol que cumplen los proyectos de infraestructura de transporte en el logro de las metas de crecimiento y productividad del país, así como en la mejora del nivel de la calidad de vida de la población. Según el Plan, se espera invertir más de US\$15.000 millones en proyectos relacionados con infraestructura vial (rutas, concesiones, mejoramientos y ampliaciones, by-passes, accesos portuarios). El mismo plan sin embargo, identifica el cambio climático como un nuevo desafío a tener en cuenta en el continuo mejoramiento a futuro de la infraestructura.

La Dirección de Vialidad del Ministerio es el organismo central que dirige el desarrollo de infraestructura vial y puentes, desempeñando un rol fundamental en todas las etapas del ciclo de vida de los correspondientes proyectos (planificación, proyección, construcción, conservación y explotación). Cabe destacar que en el caso particular de puentes, existe el Departamento de Puentes de la Dirección de Vialidad, el que propone y aplica las normas y especificaciones técnicas a la construcción y conservación de estos, a la vez que revisa y supervisa su construcción y los correspondientes programas de rehabilitación y conservación.

La Figura 16 identifica el rol de esta dirección en conjunto con otros organismos que participan en el ciclo de vida de las obras. Estas básicamente son la Dirección de Planeamiento del MOP (DIRPLAN) y los Gobiernos Regionales, los que interactúan en la etapa de planificación, y el Ministerio de Desarrollo Social, el cual participa en las etapas de factibilidad y diseño mediante la

metodología de evaluación socioeconómica de proyectos. La Figura 16 también identifica los documentos y/o procedimientos asociados a cada etapa del ciclo de vida, cuyos horizontes de planificación se definen en la Tabla 6, la que también define posibles incorporaciones de la temática del Cambio Climático.

A nivel de planificación, el rol de la DIRPLAN es asesorar en la planificación y priorización de planes de estudios, proyectos y ejecución de infraestructura de acuerdo a las necesidades del país, los programas gubernamentales y las *Estrategias Regionales de Desarrollo* elaborada por los Gobiernos Regionales. El instrumento tradicional utilizado para este fin es el *Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico*. Este documento incorpora una evaluación de los recursos hídricos por lo que potencialmente se podría considerar para su elaboración escenarios climáticos futuros.

El Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad es el documento central en torno al cual se estructura el resto del ciclo de vida de obras de vialidad (desde la definición del perfil de éstas hasta su operación y mantención). Este documento de carácter normativo guía las diferentes acciones de la Dirección, y entrega políticas, criterios, procedimientos y métodos asociados con proyectos viales que guardan relación con la planificación, estudio, evaluación, diseño construcción, seguridad, conservación, calidad e impacto ambiental. Es un documento de gran relevancia dado que debe ser seguido por proyectistas, constructores y todos aquellos que desarrollen trabajos para la Dirección de Vialidad o estén supervisados por ésta. Su relevancia se acrecienta aún más ya que uniformiza y sistematiza, dentro de lo posible, criterios y procedimientos. El Manual de Carretera identifica distintas etapas y especialidades involucradas en el desarrollo de proyectos viales, y define capítulos específicos para cada una de ellas. Dos capítulos fundamentales son el de Procedimientos de Estudios Viales (Capítulo 2) y el de Instrucciones y Criterios de Diseño (Capítulo 3). En estos capítulos se tratan los temas principales sobre la relación clima-agua-infraestructura vial. Por un lado, se presentan los estudios básicos de hidrología, hidráulica y transporte de sedimentos para estudios viales, y por el otro se presentan los criterios de drenaje, saneamiento, mecánica e hidráulica fluvial, así como los riesgos y protección frente a avalanchas de nieve y el diseño de puentes y estructuras afines. Todas estas temáticas tienen una potencial relación con aspectos del cambio climático.

En lo referido a los estudios básicos de hidrología, el diseño de infraestructura vial utiliza una serie de herramientas y metodologías basadas en el supuesto de estacionaridad de las variables hidrometeorológicas. Éstas incluyen principalmente: (1) el análisis de frecuencia y ajuste de distribuciones de probabilidad para la estimación de magnitudes y periodos retorno asociados, así como del riesgo adoptado en el diseño, (2) la construcción de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) las que permiten definir intensidades de precipitación para distintas duraciones y probabilidades de ocurrencia, (3) la definición de tormentas de diseño, las que se utilizan en los métodos lluvia-escorrentía para la estimación de crecidas en cauces no instrumentados, así como las velocidades y alturas de escurrimiento. Dado que la gran mayoría de estos métodos asumen un periodo de retorno de la crecida igual al de la precipitación que la origina, las propiedades del análisis probabilísticos de las lluvias se propagan en las estimaciones de los caudales para el diseño y análisis de obras.

El Manual de Carretera propone periodos de retorno tanto para el diseño como para la verificación de los distintos tipos de obras, las que a su vez son diseñadas considerando una cierta vida útil, también definida en el Manual (Tabla 8). Este periodo de retorno está asociado a un

riesgo de falla, el cual corresponde a la probabilidad de que durante la vida útil (50 años) la condición de falla se alcance al menos una vez. El diseño y la verificación implican distintas condiciones de operación que el manual también define. Como se mencionó, los valores de las variables de diseño para estos periodos de retorno se obtienen a partir de un análisis de frecuencia y/o un ajuste de un modelo de distribución de probabilidad, eventualmente combinado con algún modelo hidrológico. Cualquiera sea el caso, se asume que los valores históricos conocidos son representativos del futuro (es decir, hay una estacionaridad en las condiciones hidrometeorológicas). La estimación de los valores de diseño se podría fortalecer y/o complementar al incorporar futuros escenarios climáticos, que significan también un cambio en el comportamiento de las variables hidrometeorológicas. La relevancia de esta contribución consideración está supeditada al escenario climático a definir, así como la vida útil de la obra a evaluar.

Para el caso de la infraestructura vial nacional, es muy relevante la existencia de cuencas con una hipsometría variada y amplia, lo que significa la ocurrencia de precipitación tanto en estado líquido como sólido, según lo define la temperatura concurrente. Como se mencionó en la sección anterior, un aumento de la temperatura puede entonces significar mayores contribuciones de precipitación líquida, lo que eventualmente genera crecidas más violentas y de mayor magnitud. En este caso, la no estacionalidad de los caudales máximos no se explica por tendencias en la precipitación, sino más bien por tendencias en las temperaturas. Así entonces, parece razonable implementar modelos de base física que permiten simular el comportamiento de las variables hidrológicas de interés, considerando tanto los factores climáticos como otros cambios que pueda experimentar el área de interés o cuenca (cambio de uso de suelo en general, deforestación, desarrollo urbano, canalizaciones, etc.)

El Manual de Carreteras (MOP, 2012) reconoce la necesidad de actualizaciones periódicas de modo de incorporar cambios, mejoras o innovaciones relevantes. Existe un procedimiento formal donde el cambio propuesto se presenta a Dirección de Vialidad, el cual analiza y eventualmente resuelve la incorporación de esta modificación. Este procedimiento entonces debiese seguirse en caso de incorporarse alguna metodología vinculada con la consideración del cambio climático.

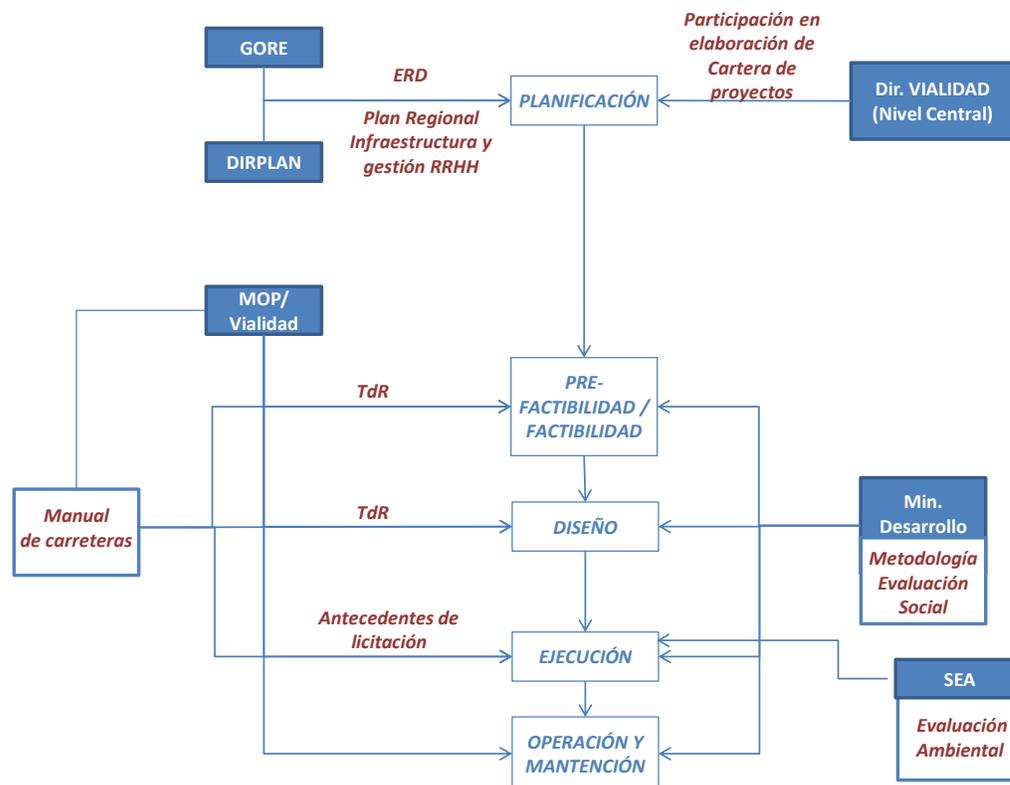


Figura 16. Ciclo de vida Obras de Vialidad. Organismos y procedimientos por etapa.

Tabla 6. Horizontes de evaluación y potencial incorporación de cambio climático en los procedimientos correspondientes a cada etapa del ciclo de una Obra de Vialidad.

CICLO	INSTITUCIÓN	MARCO LEGAL / PROCEDIMIENTO	HORIZONTE EVALUACION (Años)	
			Planificación	Social
PLANIFICACIÓN	GORE	ESTRATEGIAS REGIONALES DE DESARROLLO	7-21	
	MOP-DIRPLAN	PLAN REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA Y GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO	7	
	MOP-DIR. VIALIDAD	PARTICIPACIÓN EN ELABORACIÓN DE CARTERA DE PROYECTOS	12	
PREFACTIBILIDAD / FACTIBILIDAD	MOP-DIR. VIALIDAD	PERFIL	100 (puentes) 20 (camino)	
	MINISTERIO DESARROLLO SOCIAL	METODOLOGÍA GENERAL DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS		30
	MOP-VIALIDAD	TDR	100 (puentes) 20 (camino)	30
DISEÑO	MOP- VIALIDAD	TDR	100 (puentes) 20 (camino)	30
OPERACIÓN / MANTENCIÓN	MOP-DOP	-	-	-

Tabla 7: Periodos de retorno para el diseño y verificación de distintos tipos de obras y ruta (fuente: Manual de carretera)⁵

Tipo de Obra	Tipo de Ruta	Período de Retorno (T, años)		Vida Util Supuesta (n; años)	Riesgo de Falla (%)	
		Diseño ⁽³⁾	Verificación ⁽⁴⁾		Diseño	Verificación
Puentes y Viaductos ⁽¹⁾	Carreteras	200	300	50	22	15
	Caminos	100	150	50	40	28
Alcantarillas (S>1,75 m ²) o H terrap. ≥10 m y Estructuras Enterradas ⁽²⁾	Carreteras	100	150	50	40	28
	Caminos	50	100	30	45	26
Alcantarillas (S<1,75 m ²)	Carreteras	50	100	50	64	40
	Caminos	25	50	30	71	45
Drenaje de la Plataforma	Carreteras	10	25	10	65	34
	Caminos	5	10	5	67	41
Defensas de Riberas	Carreteras	100	-	20	18	-
	Caminos	100	-	20	18	-

S = Sección útil de la alcantarilla

⁵ En el caso de puente, su altura no sólo debe permitir el paso de la crecida de 100 o 200 años, sino que además se debe considerar la socavación causada por otros eventos (típicamente aquellos de 5, 25, 50 y 100 años de periodo de retorno)

F. Infraestructura Portuaria y de protección de Riberas

Actualmente, la Dirección de Obras Portuarias es la encargada de planificar la infraestructura portuaria y ejecutar las obras de los planes de inversión ministeriales, considerando lineamientos establecidos por el sistema nacional de inversión pública, a través de estudios propios o encargados a terceros a nivel de consultorías. Un aspecto importante abordado por esta Dirección tiene que ver con la supervisión y fiscalización de obras, definiendo las normas técnicas aplicables a nivel nacional respecto de desarrollos portuarios, y verificando que las obras en ejecución cumplan con los proyectos aprobados.

En la figura 17 se presenta el ciclo de vida de las obras de infraestructura portuaria y de protección de riberas así como los distintos actores que participan en él. A nivel de planificación, la DOP y la DIRPLAN son los encargados de definir los planes de infraestructura que dan origen a los lineamientos para los desarrollos de infraestructura portuaria y costera. En las siguientes etapas, es la DOP la encargada de desarrollar el proyecto y el Ministerio de Desarrollo Social el encargado de evaluarlo. La DOP elabora un perfil de proyecto que puede dar origen a los Términos de Referencia para los estudios de pre-factibilidad en el caso de tratarse de obras de importancia, o pasar directamente a la fase de diseño para obras menores o de poca complejidad.

En la fase de diseño, se especifican las metodologías para la estimación de las forzantes climáticas y oceanográficas las que en la actualidad se rigen por los instructivos del SHOA. Es en esta etapa en donde el conocimiento de la evolución histórica de estas variables, sus tendencias y proyecciones futuras, lo que se torna fundamental para el dimensionamiento de las obras proyectadas.

Una vez finalizado el diseño se definen las especificaciones técnicas para la fase de ejecución, donde éste se construye ya sea con las capacidades internas de la DOP (excepcional) o a través de licitaciones hacia privados.

Finalmente la obra es entregada a sus receptores finales, los que se encargarán de administrarla, operarla y mantenerla de acuerdo a los manuales de conservación.

Como se comentó anteriormente, se han observado tendencias al aumento de alturas de oleaje significativo y mayor frecuencia de los eventos de marejada. Asimismo, las proyecciones indican también un aumento en estas variables para la costa del Pacífico de América del Sur. Este tipo de información debiese ser relevante tanto en la etapa de planificación, como en la etapa de diseño de obras portuarias.

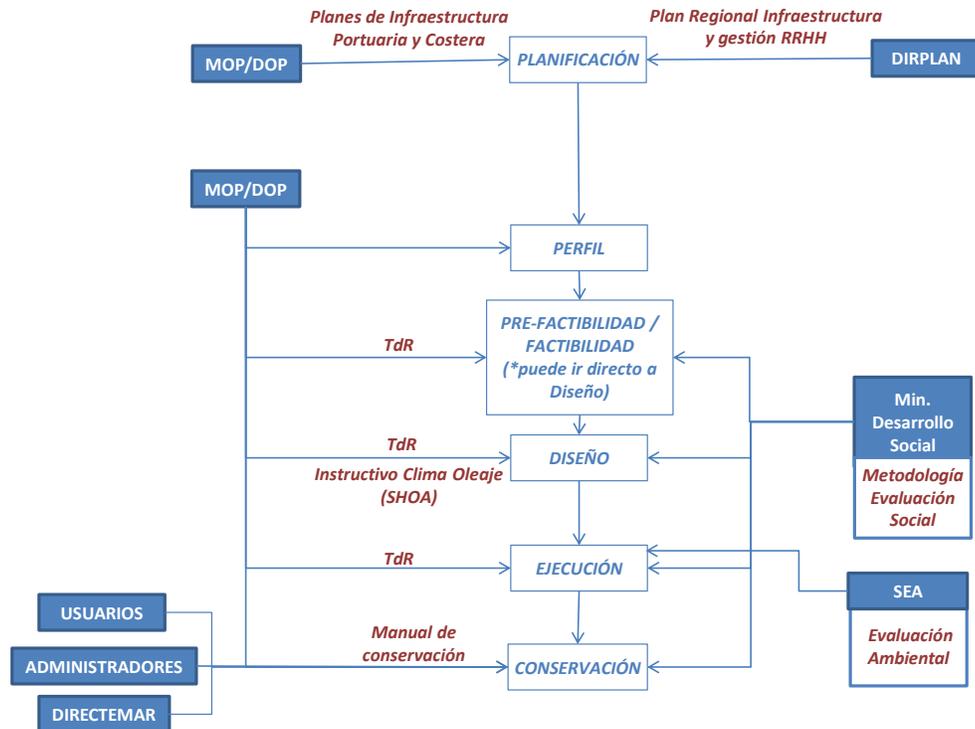


Figura 17. Ciclo de vida Obras de Infraestructura Portuaria y de Ribera. Organismos y procedimientos por etapa.

Tabla 8. Horizontes de evaluación y potencial incorporación de cambio climático en los procedimientos correspondientes a cada etapa del ciclo de una Obra de Infraestructura Portuaria y de Ribera.

CICLO	INSTITUCIÓN	MARCO LEGAL / PROCEDIMIENTO	HORIZONTE EVALUACION	
			Planificación	Social
PLANIFICACIÓN	MOP-DOP	PLANES DE INF. PORTURIA Y COSTERA	10	
	MOP-DIRPLAN	PLAN REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA Y GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO	7	
PERFIL	MOP-DOP	TDR (*Desde Perfil puede pasar directo a Diseño)	-	
PREFACTIBILIDAD / FACTIBILIDAD	MINISTERIO DESARROLLO SOCIAL	METODOLOGÍA GENERAL DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS		30
	MOP-DOP	TDR		30
DISEÑO	MOP-DOP	TDR		30
	SHOA	INSTRUCTIVO CLIMA-OLEAJE	-	-
CONSERVACIÓN	USUARIOS	MANUAL DE CONSERVACIÓN	-	-
	DIRECTEMAR		-	-

IV. Incorporación del cambio climático en el sector infraestructura: revisión de experiencias internacionales

El informe “Managing The Risks Of Extreme Events And Disasters To Advance Climate Change Adaptation” (SREX, IPCC, 2012) fue la principal fuente de información utilizada en la búsqueda de experiencias internacionales respecto a metodologías que permitan incorporar el cambio climático en los procesos de decisión asociados a las distintas etapas del ciclo de vida de una obra de infraestructura.

Un factor importante que destaca este informe es el limitado desarrollo de investigación en relación a la evaluación de impactos del cambio climático sobre la infraestructura. Si bien se espera que los eventos extremos provoquen un impacto considerable sobre la infraestructura, los análisis detallados de daños potenciales proyectados se limitan a unos pocos países, y asociado solo a algunos sectores de la infraestructura. La literatura disponible apunta principalmente a obras tales como obras de evacuación de aguas lluvias, embalses, infraestructura costera, puentes, infraestructura de transmisión eléctrica y escuelas.

Las recomendaciones para lograr una respuesta anticipada ante futuros riesgos de desastre son variadas. Sin embargo, estas recomendaciones por lo general se asocian a elementos que están poco vinculados con los procesos de decisión, diseño y operación de obras de infraestructura, sino que están más bien enfocadas en desarrollar estrategias que permitan una mejor efectividad al comunicar el riesgo (estrategia comunicacional del riesgo, sistemas de alerta temprana), una mejor planificación territorial en miras de disminuir la exposición, o estrategias de almacenaje o racionamiento de recursos para enfrentar periodos complejos provocados por eventos extremos.

Medidas estructurales tales como obras de ingeniería que aporten a la protección (diques, terraplenes, obras de manejo de cauces), a la seguridad hídrica (embalses), o a reducir los efectos de olas de calor (sistemas de aislamiento y sistema de enfriamiento), son intervenciones que permiten reducir los efectos de eventos extremos. Aun así, si bien muchas de estas intervenciones pueden ser exitosas en reducir impactos, es también posible que fallen, como consecuencia de una mantención inadecuada o bien debido a que los estándares de diseño con que fueron construidos son superados por eventos extremos de mayor magnitud. En este contexto, se hace altamente relevante incorporar nuevos niveles de diseño que consideren el cambio climático en su definición. Un factor importante a considerar es que reducir el riesgo mediante la construcción de grandes obras de infraestructura puede acarrear implicancias inesperadas que se oponen al objetivo original de la obra, aumentando incluso la vulnerabilidad ante la amenaza. Un clásico ejemplo es la construcción de un gran embalse, que sin la planificación territorial adecuada puede incentivar el uso de tierras aledañas a la obra. En este caso se produce una situación en que la vulnerabilidad es mayor a la situación inicial, donde un evento extremo que supere los niveles de diseño del embalse puede finalmente materializarse en un desastre, que mediante otro tipo de acciones pudo ser evitado (esto se conoce como el *safe development paradox*, IPCC, 2012). La consideración de alternativas no estructurales, pueden, eventualmente y dependiendo de la situación, ser más efectivas. Es por esto que se recomienda desarrollar procesos integrados (y no siempre en base a subsidio estatal mediante grandes obras), en que la participación a nivel local

toma un rol relevante. Con esto es posible lograr un sentido de responsabilidad ante la situación de riesgo, reduciendo la exposición.

En complemento a la revisión del informe SREX se efectuó una revisión de literatura asociada a publicaciones científicas que abordan el tema de la adaptación al cambio climático en el sector infraestructura. Es importante destacar que los resultados encontrados estuvieron siempre en línea con las recomendaciones asociadas al informe SREX. Por otro lado, no fue posible identificar estrategias o metodologías específicas de mayor profundidad para lograr los objetivos propuestos en el presente estudio. Algunas de las recomendaciones que complementan lo ya discutido más arriba, son presentadas a continuación:

1. Uso de estrategias “win-win”: Las estrategias “win-win” son aquellas estrategias que acoplan las necesidades de adaptación al cambio climático o de disminución de riesgo, con las necesidades de desarrollo.
2. Aproximaciones locales (bottom-up): Se refiere a estrategias basadas en las acciones de las comunidades locales. Esta es una aproximación cada vez más común en países desarrollados, dado que compensa los altos costos asociados a estrategias “top-down” y favorece altamente la implementación.
3. Evaluaciones y ajustes en procesos de gobernanza: La falta de coordinación en las distintas escalas de gobernanza, junto con una asignación poco clara de responsabilidades, especialmente bajo escalas de tiempo mayores, son barreras significativas para la adaptación y futura coordinación de la implementación de estrategias. Se ha observado que la creación de grandes redes de gobernanza mediante la coordinación permite aumentar la capacidad adaptativa de actores locales.
4. Uso de herramientas de modelación: Distintas experiencias indican que las herramientas computacionales de modelación han sido muy efectivas como sistemas de soporte para la toma de decisiones, siendo un medio esencial para la evaluación de impactos y opciones de adaptación.

Por último, el *think tank* Resources for the future (RRF, 2009), ha estudiado el enfoque bajo el cual debiera incorporarse el cambio climático en la planificación y desarrollo de infraestructura. El resultado de sus observaciones indica que hay maneras en que la capacidad adaptativa puede ser mejorada de forma significativa en el sector público por medio de tres reformas clave. Primero, es fundamental implementar un método de gestión de activos y generar un marco para incorporar proyecciones climáticas, permitiendo mejorar la capacidad adaptativa. Segundo, las áreas más vulnerables a impactos climáticos debieran ser mapeadas, utilizando esta información como guía para la asignación de recursos asociados a infraestructura. A su vez, esta información debiese publicarse y ser actualizada periódicamente, para transmitir de forma efectiva al sector privado los alcances y límites de la infraestructura pública. Por último, los esfuerzos deben apuntar hacia una actualización de los estándares de diseño de infraestructura, para asegurar que futuras obras sean más resilientes y puedan anticiparse a los efectos de los eventos extremos.

V. Propuesta metodológica para incluir la adaptación al cambio climático en el desarrollo de obras de infraestructura pública en Chile

A. Introducción

En las secciones anteriores de este informe hemos presentado algunos de los elementos centrales que deben ser tomados en cuenta para incorporar la adaptación al cambio climático en relación a la planificación, diseño y operación de obras de infraestructura.

Desde el punto de vista del marco conceptual y tal como se ha mencionado anteriormente, se puede destacar que existen dos maneras en que la infraestructura se puede relacionar con el cambio climático:

- obras afectadas por amenazas climáticas
- obras que pueden contribuir a que un sistema humano o natural se vea más o menos expuesto al cambio climático (dependiendo de si el cambio climático es visto como una amenaza o una oportunidad).

Con respecto a la caracterización de la amenaza climática revisamos en el informe que pese a que las metodologías existentes para desarrollar escenarios futuros de cambio climático evolucionan y se perfeccionan en el tiempo, es importante reconocer los múltiples desafíos aún existentes en términos de generar información con bajos niveles de incertidumbre, especialmente en situaciones donde se requiere información con una alta resolución espacial y temporal. Sin perjuicio de lo anterior con la información existente a la fecha es posible identificar en Chile tres grandes desafíos en lo que relaciona infraestructura y cambio climático:

- Aumentos de temperatura y disminución de precipitaciones a lo largo de la zona central del país. Esto tendría implicancias en el suministro de agua para una serie de actividades económicas y para satisfacer las necesidades de la población así como también posiblemente correr los patrones de producción regional agrícola.
- Con el aumento de temperatura es posible esperar un aumento en la ocurrencia de inundaciones fluviales producto del alza en la línea de nieves.
- Aumento en los impactos de inundaciones costeras producto de un alza significativa en oleajes.

Tomando estos elementos de base, el marco conceptual finalmente recoge dos elementos críticos necesarios al momento de establecer el diseño de metodología de adaptación:

- La adaptación debe ser considerada como un proceso más que como un resultado. Vital en este proceso es el continuo aprendizaje de vulnerabilidades y amenazas y monitoreo de su evolución.
- La adaptación debe ser vista como un complemento al proceso de Gestión del Riesgo o Gestión de desastres.

Desde el punto de la institucionalidad en la gestión de obras de infraestructura en Chile es posible a través del análisis de sensibilidad reconocer dos cosas:

- El cambio es un factor relevante solo en algunas etapas de este proceso. Este puede ser en el proceso estratégico de planificación de la obra, o en el análisis de factibilidad o en el diseño y/o en la construcción y operación de la misma.
- En esta misma línea se debe reconocer que el Ministerio de Obras Públicas (MOP) tiene influencia acotada en términos de la planificación, diseño y operación de obras de infraestructura. En varias partes dentro del proceso de desarrollo de una obra aparecen otras instituciones con roles relevantes. Esto ocurre especialmente en los niveles más estratégicos o de planificación de las obras.

B. Propuesta metodológica

En base a todos estos conceptos básicos nos planteamos la pregunta básica de este trabajo:

¿Cuál es el enfoque metodológico que debe seguirse para evaluar la adaptación al cambio climático en la infraestructura del MOP?

Reconociendo que esta es la primera experiencia que intenta responder de manera formal esta pregunta en el caso chileno y destacando que no existen metodologías claramente aplicables tomando en cuenta la experiencia internacional, se cree necesario que se abra esta pregunta en dos partes:

1. *¿Cuál es la metodología que debe seguirse para **decidir** si es necesario incorporar la evaluación de la adaptación al cambio climático en una obra determinada?*
2. *Una vez que se ha tomado esta decisión ¿cuál es la metodología que debe considerarse para llevar a cabo esta **evaluación**?*

La propuesta que se desarrolla a continuación pretende entregar un apoyo para responder la primera pregunta. Metodologías específicas en el marco de lo que plantea la segunda pregunta escapan de los alcances del presente trabajo. Pero la necesidad de utilizar ese tipo de metodología es uno de los posibles resultados de la aplicación de esta metodología propuesta. La descripción esquemática de la propuesta metodológica se presenta en la figura 18.

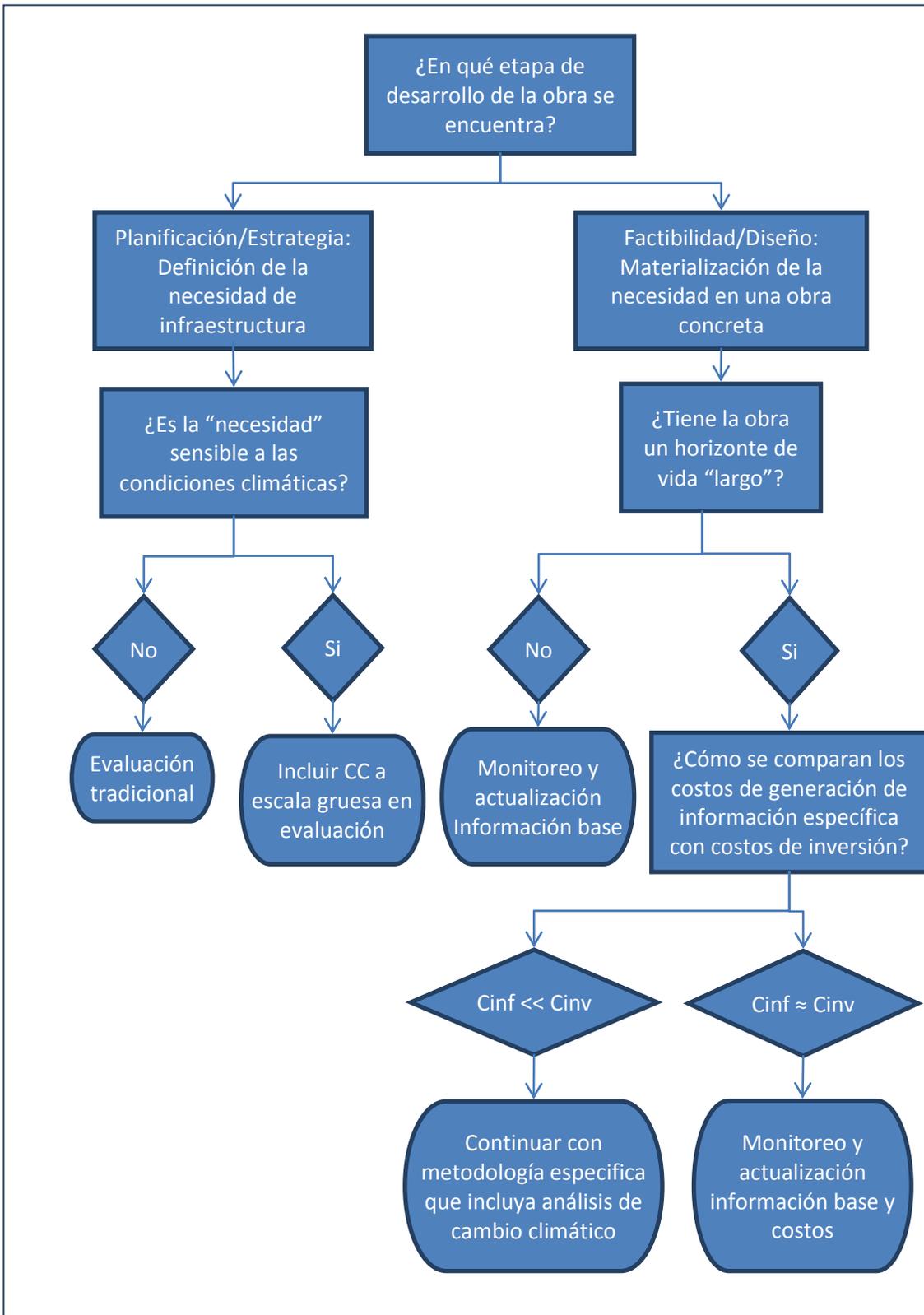


Figura 18. Propuesta metodológica para decidir si es necesario incorporar la evaluación de la adaptación al cambio climático en una obra determinada

La metodología comienza discerniendo con respecto a la etapa en que se encuentra el proceso de gestión de la obra de infraestructura distinguiéndose una etapa inicial en la que se define la necesidad de tener una obra (etapa de planificación o estratégica) y la etapa en la que esta necesidad ya existe pero tiene que tomar forma en una obra concreta que pueda evaluarse técnica y económicamente. Si se encuentra en la etapa del proceso de desarrollo de la necesidad básica la pregunta relevante es simplemente si la necesidad misma se puede ver influenciada por condiciones climáticas. Si este es el caso se propone seguir incluyendo el cambio climático en las etapas posteriores de desarrollo de la obra. Existen necesidades de infraestructura que claramente están condicionadas por el clima (necesidad de aprovisionamiento de agua o necesidad de seguridad frente a eventos extremos hidroclimáticos) pero otras que no tienen ninguna relación (necesidad de movilización entre dos puntos, necesidad de movimiento de bienes). Si es que existe tal relación se propone considerar información genérica disponible en cuanto a escenarios de cambio climático para evaluar la posibilidad de que exista una mayor o menor necesidad de infraestructura.

Si la obra se encuentra en etapa de pre-factibilidad, factibilidad o diseño se plantea en la metodología una primera pregunta clave asociada al largo de la vida útil de la obra. Si es que la obra es de corta duración (podría ser menor a 10 años por ejemplo) se propone simplemente seguir actualizando información de base en relación a condiciones hidroclimáticas y/o de vulnerabilidad de la obra o del servicio que provee. Si por otra parte el horizonte de vida de la obra es suficientemente largo (e.g. mayor a 20 años) se propone incluir el cambio climático en la próxima etapa de la metodología.

Para entender esta decisión propone un ejemplo hipotético asociado a una obra de infraestructura en desarrollo inserta en una realidad hidroclimática que puede variar en el futuro producto del cambio climático. En el primer panel de la figura 19 se presenta la situación hidroclimática histórica (e.g. caudal de agua disponible o caudal máximo instantáneo) y su proyección futura en virtud de un hipotético escenario de cambio climático. Se ha agregado adicionalmente en la figura dos líneas que representan la condición promedio histórica de esta variable hidroclimática sumándole (restándole) una desviación estándar de los valores registrados anualmente. Se puede apreciar en este ejemplo que a partir aproximadamente del año 2030 la condición en cada año de esta variable nunca es menor al promedio histórico más una desviación estándar. Podemos decir que a partir de ese año (probablemente antes en términos estadísticos) hay un cambio evidente en la condición hidroclimática donde se espera desarrollar la obra. Supongamos adicionalmente que dicha obra solo cumple con sus objetivos (e.g. puede satisfacer de agua a una población o es capaz de resistir el impacto de una inundación para salvar una población vecina) cuando la variable hidroclimática no supera un valor cercano al promedio más una desviación estándar. Si la condición climática supera ese umbral entonces los beneficios son iguales a 0. Claramente vemos en este caso que si la obra tiene un periodo de vida útil suficientemente corto entonces es muy probable que las condiciones históricas sean las preponderantes a la hora de evaluar los costos y los beneficios de la obra. Si en cambio la obra supera un horizonte determinado entonces es probable de que si hay efectivamente un cambio en el clima este sea relevante para determinar el valor real de la obra en sí.

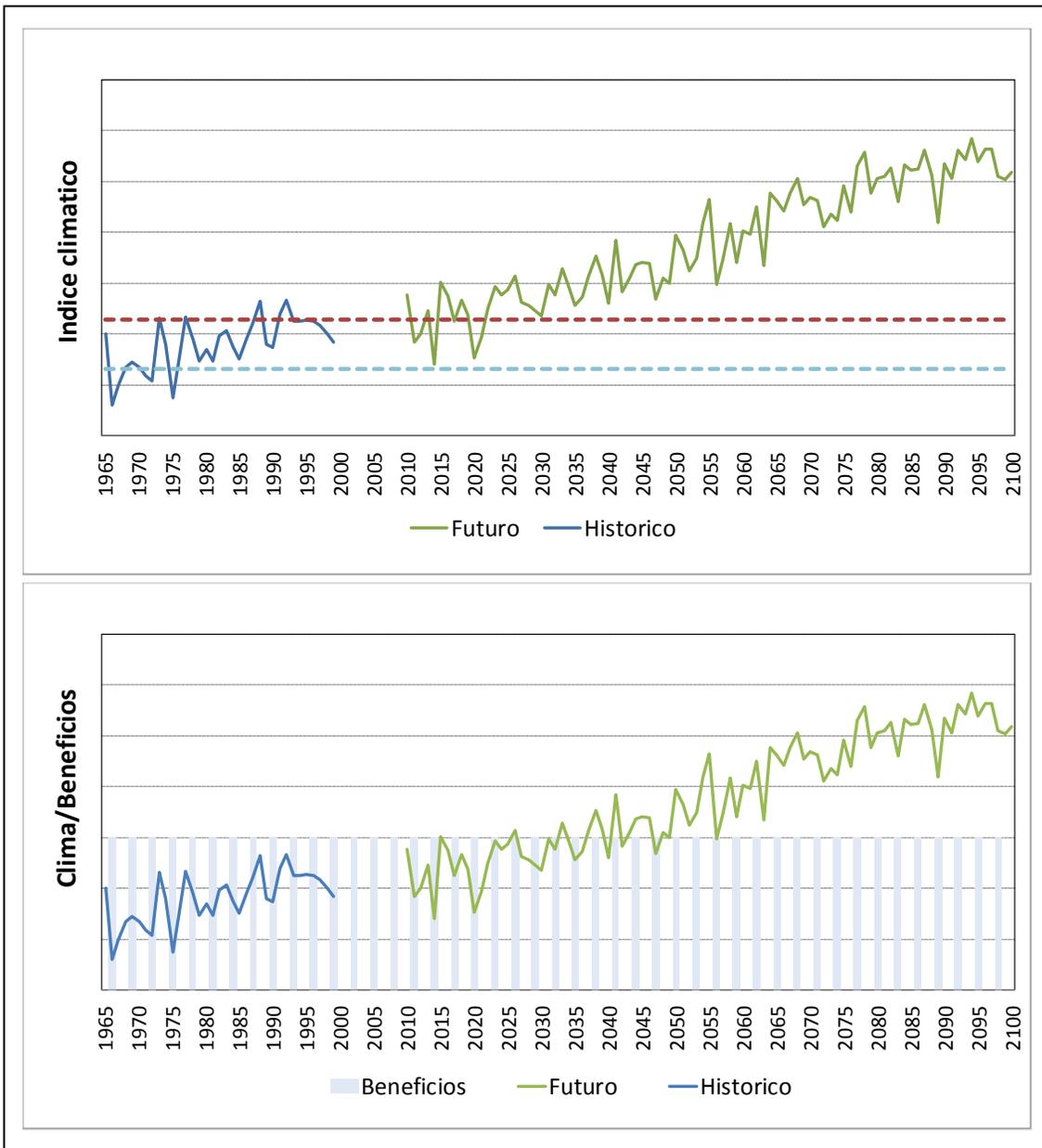


Figura 19. Ejemplo hipotético de efecto en cambio de variable climática y beneficios de obra de infraestructura en función del horizonte de la obra

Una segunda pregunta clave que hay que plantearse antes de decidir si ocupar una metodología compleja para incorporar la adaptación al cambio climático en el proceso de desarrollo de una obra de infraestructura tiene que ver con algo que ya se había mencionado y que se relaciona con los costos y desafíos que deben de tomarse en cuenta para el desarrollo de escenarios climáticos futuros. Esto es especialmente cierto cuando se requiere de información a escalas de tiempo muy bajas (e.g. precipitación de dos horas) o en espacios muy reducidos. En ambos casos las condiciones locales (a diferencias de las condiciones globales que rigen los modelos de clima global) son más relevantes.

En este sentido la pregunta que es necesario realizar intenta comparar los costos requeridos para generar la información de base para proyectar escenarios futuros necesarios para el análisis de impactos (es importante tener en mente que en algunos casos el costo es infinito o muy alto ya que no es posible obtener algunos tipos de información). Si estos costos son comparables en cierto modo con los costos de inversión de la obra propiamente tal entonces no se cree pertinentes utilizar metodologías específicas sino que continuar con medidas de monitoreo tanto de las condiciones hidroclimáticas pero también de la vulnerabilidad de las obras que se espera en este caso duren por periodos prolongados de tiempo.

VI. Recomendaciones

De acuerdo a los resultados del trabajo realizado en esta consultoría se recomienda trabajar en 5 líneas de trabajo en el corto y mediano plazo de acuerdo a lo que se describe a continuación:

A. Aplicar metodología propuesta para decidir qué tipo de obras pueden requerir de un análisis de impactos de cambio climático

Los principales criterios presentados en la propuesta metodológica para decidir si el proceso de evaluación de una obra de infraestructura requiere de incorporar de manera específica escenarios de cambio climático son dos: horizonte de vida de la obra; relación de costos de obtener información específica para la obra con costos de inversión).

Bajo estos supuestos es posible descartar de una manera provisional (a falta de una aplicación más formal de la metodología por parte del MOP) la consideración del cambio climático en la evaluación de los siguientes tipos de obras:

- Obras de protección fluvial: los horizontes de evaluación de este tipo de obras son generalmente cortos por lo que puede resultar más conveniente en este caso actualizar permanentemente el monitoreo de la información hidrometeorológica para llevar a cabo la mejor evaluación posible. Se excluye de esta consideración a las Obras de control aluvional, dado que dependiendo de su magnitud pueden estar asociados a horizontes de evaluación y costos mayores, contexto en el que deberían ser incorporados escenarios de cambio climático en su evaluación.
- Obras drenaje urbano: los efectos del cambio climático son actualmente difíciles de estimar para las escalas espaciales y temporales relevantes en el caso del drenaje urbano. Las estimaciones futuras de precipitaciones y temperaturas aplican más bien a escalas espaciales y temporales mayores a las utilizadas en el dimensionamiento de obras de drenaje (escalas temporales del orden de minutos u horas, y escalas espaciales de cientos de m² o pocos km²). Estas estimaciones si son más aplicables al evaluar el comportamiento de ríos y cursos importante, con cuencas aportantes de tamaño significativo, que cruzan centros urbanos y pueden generar inundaciones en eventos de crecida.
- Obras de APR: los efectos del cambio climático son actualmente difíciles de estimar para el tipo de información que se requiere en la evaluación de muchos proyectos de APR. Para muchos casos de APR la información que se necesita es de carácter local y muchas veces asociado a condiciones de aguas subterráneas. Las estimaciones futuras de precipitaciones y temperaturas provenientes de GCMs aplican más bien a escalas espaciales y temporales mayores (e.g. a nivel de cuenca). Nos encontramos en este caso en una situación donde los costos de obtener la información asociada a la disponibilidad de agua para este tipo de proyectos es compleja de obtener en el marco de escenarios de cambio climático. Reconociendo, sin embargo, que este tipo de obras son de larga duración y que el cambio climático puede tener importantes consecuencias con respecto a los costos esperados para el desarrollo del proyecto (en todo su ciclo de vida), se propone tal como se sugiere

en el marco general que una manera de abordar este tipo de obras sea a través de una continua actualización de la información de base (entre ellas costos) requerida para el desarrollo de estas obras. Este tipo de monitoreo lo puede desarrollar la DGA encargada del otorgamiento de los derechos necesarios para el desarrollo de los proyectos de APR. Los resultados de este monitoreo pueden ser transmitidos al Ministerio de Desarrollo Social para ser considerados en los criterios para asignar financiamiento para este tipo de proyectos. Es importante a nivel de planificación que este tipo de temas sean tratados en instrumentos estratégicos como la Política de Desarrollo Rural actualmente en desarrollo por la SUBDERE del Ministerio del Interior.

B. Desarrollar metodología específica en casos particulares

Se recomienda avanzar en el desarrollo de metodologías específicas para otro tipo de obras. En particular se prevé necesario desarrollar metodologías específicas para el caso de embalses de riego, puertos y puentes.

C. Mejorar sistemas de monitoreo de amenazas y vulnerabilidad

Independiente de si se desarrolla o no una metodología específica, se prevé necesario que mejoren los sistemas de monitoreo de variables hidrológicas. El estudio y monitoreo de cuencas nivo-pluviales es particularmente importante, dado que son más sensibles a cambios en precipitaciones y temperaturas. Así también, se considera importante monitorear el estado de las diferentes obras de infraestructura del MOP.

D. Promover discusión interministerial relativa a la incorporación del cambio climático en el proceso de decisión de obras de infraestructura.

Como se ha mencionado varias veces en el documento para realmente incorporar las proyecciones de cambio climático en el proceso de decisión de obras de infraestructura es necesario que trabajen no solo el MOP sino que también una serie de otros organismos estatales que tienen que estar de acuerdo con la idea de incorporar estos nuevos elementos. Entre ellos destaca el Sistema Nacional de Inversiones del Ministerio de Desarrollo Social. La siguiente tabla presenta, por tipo de obra, los actores que debieran estar involucrados en esta discusión interministerial.

OBRA MOP	ACTORES RELEVANTES EXTERNOS
EMBALSES DE RIEGO	CNR, MOP (DGA, DOH, DIRPLAN), Ministerio de Desarrollo Social
INFRAESTRUCTURA PORTUARIA Y DE PROTECCIÓN DE RIBERAS	MOP (DOP, DIRPLAN), Ministerio de Desarrollo Social, Ministerio de Defensa, Fuerzas Armadas DIRECTEMAR, SHOA.
PUENTES	MOP (DIRPLAN, VIALIDAD), Ministerio de Desarrollo Social, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones.
APR	MOP (DGA, DOH, DIRPLAN), Ministerio de Desarrollo Social, SUBDERE (Ministerio del Interior).

Referencias

Banco Interamericano de Desarrollo y Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Cepal, 2011. Efectos del Cambio Climático en la Costa de América Latina y el Caribe: Dinámicas, Tendencias y Variabilidad Climática. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal), Naciones Unidas.

CNR, 2011. Manual para el Desarrollo de Grandes Obras de Riego. Disponible en file:///C:/Users/User/AppData/Local/Temp/Manual

Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL (2012). La Economía del Cambio Climático en Chile. Naciones Unidas y Gobierno de Chile.

Contreras, M.; Winckler, P. y Molina, M. (2012). Implicancias de la variación del nivel medio del mar por cambio climático en obras de ingeniería costera de Chile. Anales del Instituto de Ingenieros de Chile. ISSN 0370-4009-No466.

DGF-CONAMA(2007) Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI. <http://www.dgf.uchile.cl/PRECIS/> Last access July, 2010.

DOH, 2012. Obras de Manejo de Cauces. Disponible en http://www.doh.gob.cl/publicacionesyestudios/Documents/tipo_obras_de_cauces.pdf

Solomon, S. et al. (eds) Climate Change 2007: The Physical Science Basis (Cambridge University Press for the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007)

Dirección General de Aguas, DGA (2008). Informe Técnico, Análisis Crecida Río Mataquito y Tributarios, 22 Y 23 de Mayo de 2008. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Chile.

Dussailant, A., Benito, G., Buytaert, W., Carling, P., Meier, C., Espinoza, F (2009). Repeated glacial-lake outburst floods in Patagonia: An increasing hazard? Natural Hazards 54, 469 doi: 10.1007/s11069-009-9479-8.

Falvey M, Garreaud RD (2009) Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979–2006). Journal of Geophysical Research 114: D04102

Field et al., 2012, C.B. Field, V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, P.M. Midgley. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA (2012) 582 pp.

Marín, V.H., Tironi, A., Paredes, M.A., Contreras, M. (2012) Modeling suspended solids in a Northern Chilean Patagonia glacier-fed fjord: GLOF scenarios under climate change conditions. Ecological Modelling, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.06.017>

Masiokas MH, Villalba R, Luckman BH, Le Quesne C, Aravena JC (2006) Snowpack Variations in the Central Andes of Argentina and Chile, 1951– 2005 : Large-Scale Atmospheric Influences and Implications for Water Resources in the Region. Society: 6334-6352

Maurer, E. P., Brekke, L., Pruitt, T., and Duffy, P. B.: Fineresolution climate change projections enhance regional climate change impact studies, Eos, Transactions, American Geophysical Union, 88, p. 504, 2007.

Meza FJ, Vicuña S, Jelinek M, Bustos E, Bonelli S. Urban and rural conflicting water use in a climate change sensitive basin in Central Chile. Submitted.

Ministerio de Desarrollo Social, 2012. Metodologías de evaluación de proyectos. Disponible en http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=4&Itemid=9

Molina, M.; Contreras, M.; Winckler, P.; Salinas S. y Reyes, M. (2011). Consideraciones sobre las variaciones de mediano y largo plazo del oleaje en el diseño de obras marítimas en Chile central. Anales del Instituto de Ingenieros de Chile. ISSN 0370–4009–No464.

MOP, 2010. Plan Director de Infraestructura 2010-2025. Disponible en http://www.dirplan.cl/planes/plandirector/Documents/2009/0_Informe_Ejecutivo_PDI_MOP.pdf

MOP, DIRPLAN, 2012. Planes regionales de Infraestructura y Gestión de Recursos Hídricos. Disponible en <http://www.dirplan.cl/centrodedocumentacion/Paginas/default.aspx>

MOP, 2012. Manual de Carreteras. Disponible en <http://mc.mop.gov.cl/Login.aspx>

Neumann, James E. 2009. Adaptation to Climate Change: Revisiting Infrastructure Norms. Issue brief 09-15. Washington, DC: Resources for the Future.

Quintana JM, Aceituno P (2012) Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of south america (Chile): 30-43° S. *Atmósfera*, 25(1): 1-12

Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, SUBDERE (2011). “Estudio de Riesgo de Sismos y Maremoto para Comunas Costeras de las Regiones de O’Higgins y del Maule”. SUBDERE y Pontificia Universidad Católica de Chile.

Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, SUBDERE (2012). Estrategias de Desarrollo Regional, disponibles en <http://www.subdere.gov.cl/documentacion/estrategias-regionales-de-desarrollo>

Vargas G, et al 2011. “Coastal uplift and tsunami effects associated to the 2010 Mw 8.8 Maule earthquake in Central Chile”. *AndeanGeology* N°38 (1) pp 219-318.

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

Vicuña S, McPhee J, Garreaud RD (2012) Agriculture vulnerability to climate change in a snowmelt driven basin in semiarid Chile. J Water Resour Plann Manage

Vicuña, S., Gironás, J., Meza, F.J., Cruzat, M.L., Jelinek, M., Bustos, E., Poblete, D., Bambach, N. (in review). Exploring possible connections between hydrologic extreme events and climate change in central south Chile. Submitted to Hydrological Sciences Journal.

Anexo I.I: “Eventos extremos y cambio climático en Chile” Presentación elaborada como base de discusión para el desarrollo de reuniones sectoriales MOP.

Eventos extremos y cambio climático en Chile



Sebastián Vicuña

Director Ejecutivo Centro Cambio Global

Octubre, 2012 MOP



Temario

- Contexto: Conclusiones SREX
- Revisión potenciales impactos del cambio climático en Chile
- Conclusiones



El desarrollo socioeconómico interactúa con las variaciones naturales del clima y el cambio climático causado por el hombre para influir en el riesgo de desastres

El aumento de la vulnerabilidad, la exposición, o la severidad y frecuencia de los fenómenos climáticos aumenta el riesgo de desastres

La vulnerabilidad social y la exposición son los principales factores determinantes del riesgo de desastres y ayudan a explicar por qué eventos físicos que no son extremos o peligros crónicos también pueden conducir a impactos extremos y desastres, mientras que algunos eventos extremos no.



4



Special IPCC Report on Extreme Events (SREX)

WORKING GROUPS I+II
Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX)

ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE
WMO UNEP

Get Fact Sheet Overview Report Contributors Press & Events IPCC Process Background

Special Report

Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX)

SREX OVERVIEW

PLAY

SUMMARY FOR POLICYMAKERS
PDF - 29 pages - 5.6MB

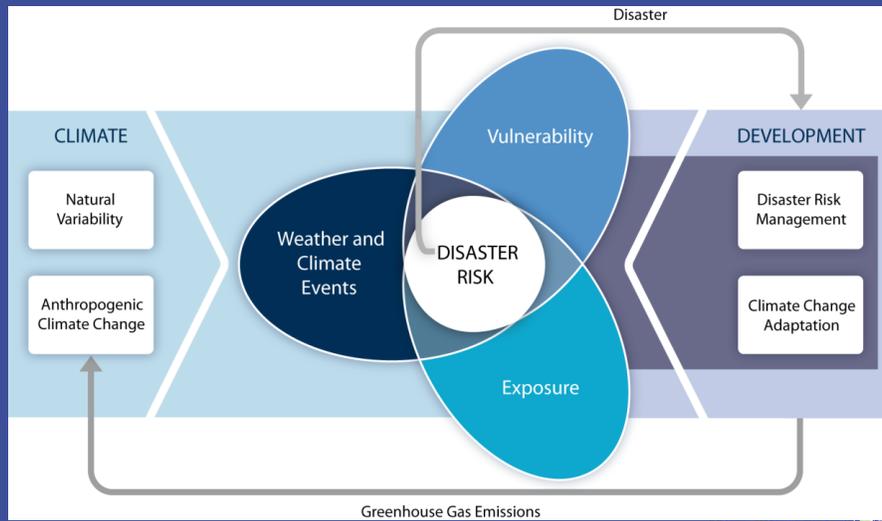
FULL SREX REPORT
Available February 2012

Read the [Press Release](#) and see [Generic Presentation](#)

<http://ipcc-wg2.gov/SREX/>

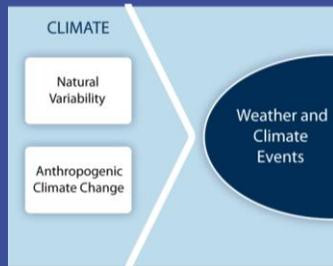
Centro de Cambio Global UC

Marco conceptual que relaciona adaptación al cambio climático y gestión de riesgos de desastres

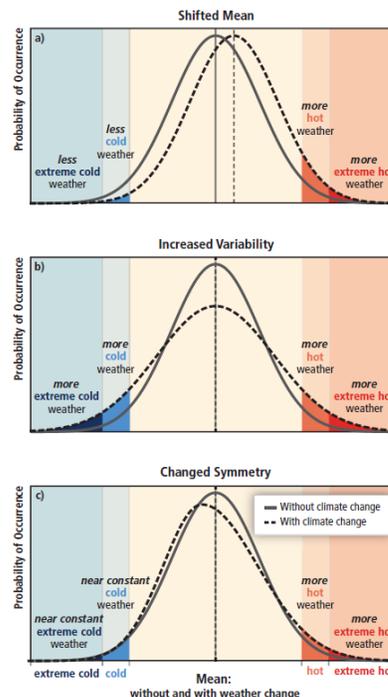


5

Cambio Global UC



Un clima cambiante puede provocar cambios en la frecuencia, la intensidad, la extensión espacial, duración y temporalidad de fenómenos extremos meteorológicos y climáticos, y puede resultar en eventos meteorológicos y climáticos sin precedentes



Special IPCC Report on Extreme Events (SREX)

Es muy probable que haya habido una disminución general en el número de días y noches fríos, y un aumento general en el número de días cálidos y noches, para la mayoría de las áreas terrestres con datos suficientes.

Se han observado tendencias estadísticamente significativas en el número de episodios de precipitaciones intensas en algunas regiones. Es probable que más de estas regiones han experimentado aumentos que disminuciones, aunque hay fuertes variaciones regionales y subregionales en estas tendencias.



Special IPCC Report on Extreme Events (SREX)

Hay evidencia limitada para evaluar cambios inducidos por el clima en la magnitud y frecuencia de inundaciones ... En especial debido a los efectos complementarios de los cambios en el uso del suelo y la ingeniería.

Algunos fenómenos climáticos extremos (por ejemplo, sequías) pueden ser el resultado de una acumulación de fenómenos meteorológicos o climáticos que no son extremos cuando se consideran de forma independiente.



Temario

- Contexto: Conclusiones SREX
- **Revisión potenciales impactos del cambio climático en Chile**
- Conclusiones

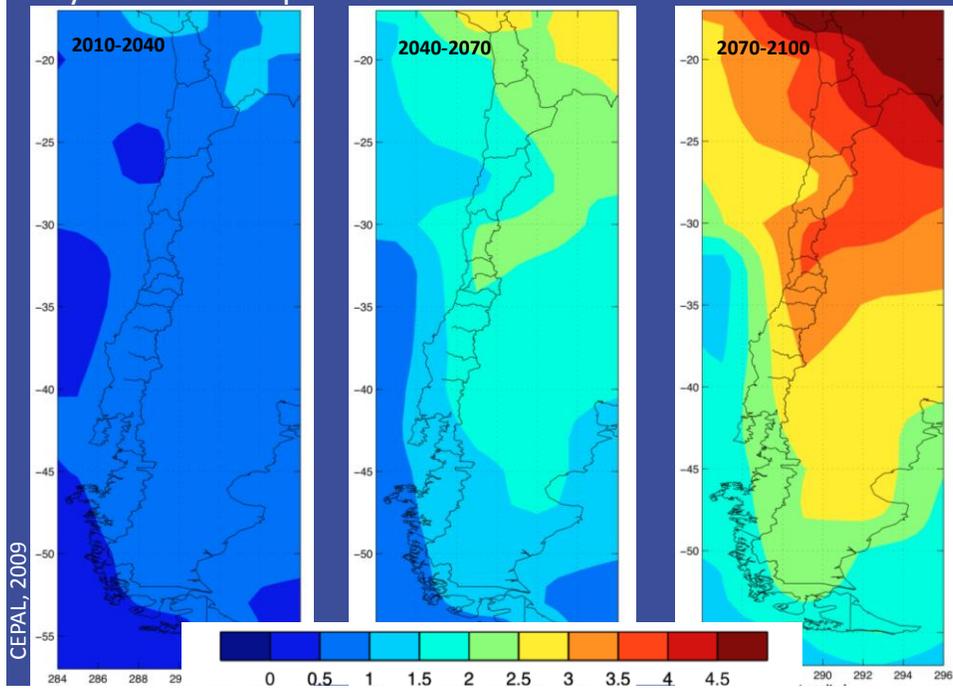


Posibles cambios en extremos hidroclimáticos

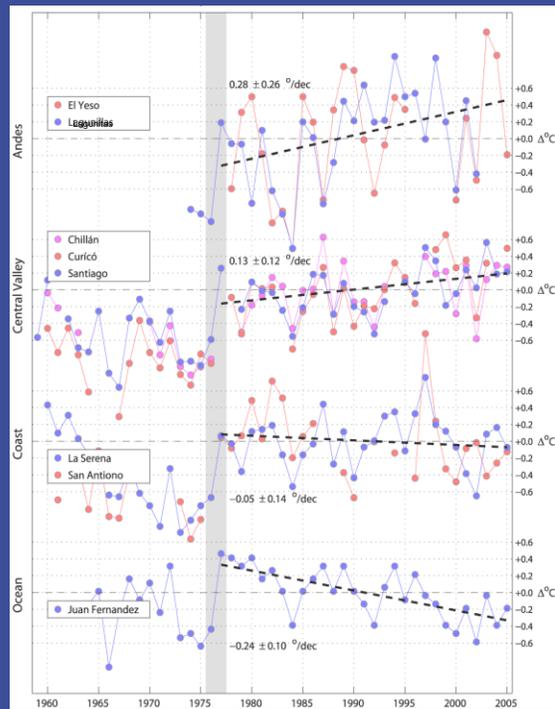
- Aumento intensidad en precipitaciones
- Aumento en extensión y magnitud de sequias
- Aumento en intensidad en inundaciones fluviales
- Aumento en intensidad en inundaciones costeras



Proyecciones temperatura

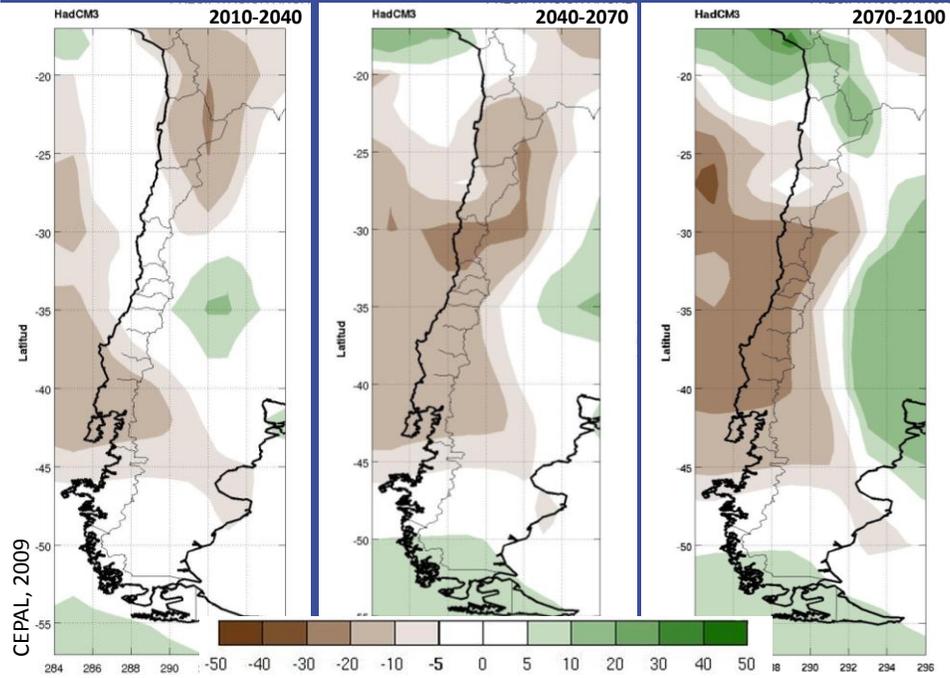


Tendencia de temperatura en Chile Central

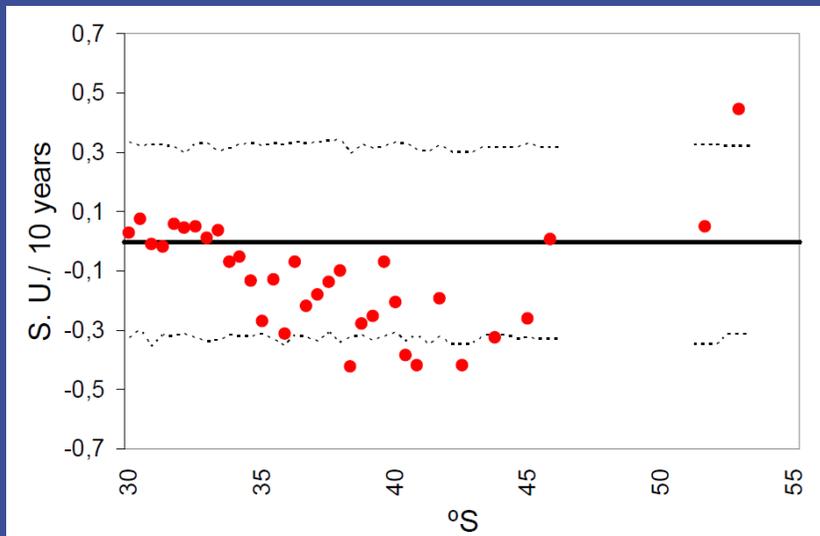


Falvey and Garreaud, 2009

Proyecciones precipitación



Tendencia de precipitación en Chile Central



Quintana and Aceituno, 2006

Tendencias en el Nivel Medio del Mar

- No se aprecian variaciones históricas homogéneas a lo largo de Chile (desde -1.4mm/año hasta +3.2mm/año – Contreras et al., 2012).
- Fuerte incidencia de movimientos co-sísmicos de origen tectónico en esta variabilidad
- Cambios cíclicos asociados al fenómeno el Niño parece más relevantes

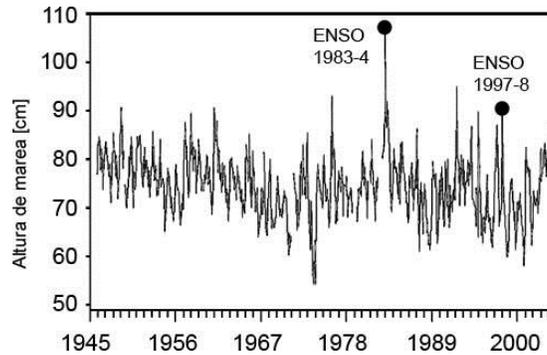
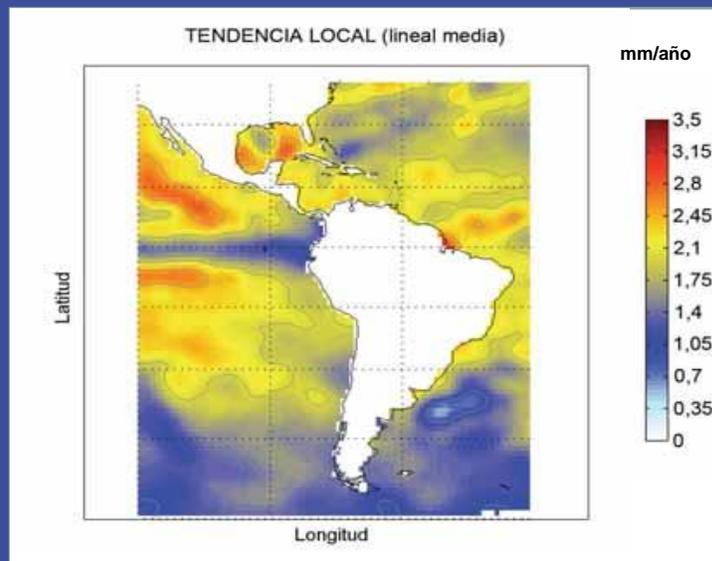


Figura 13: Mediciones del NMM en Antofagasta y fenómenos ENOS de 1983-4 y 1997-8.

Contreras et al., 2012

Tendencias en el Nivel Medio del Mar



Estudio Regional de los Efectos del Cambio Climático en la Costa de América Latina y el Caribe – CEPAL, 2012

Tendencias en el Clima de Oleaje

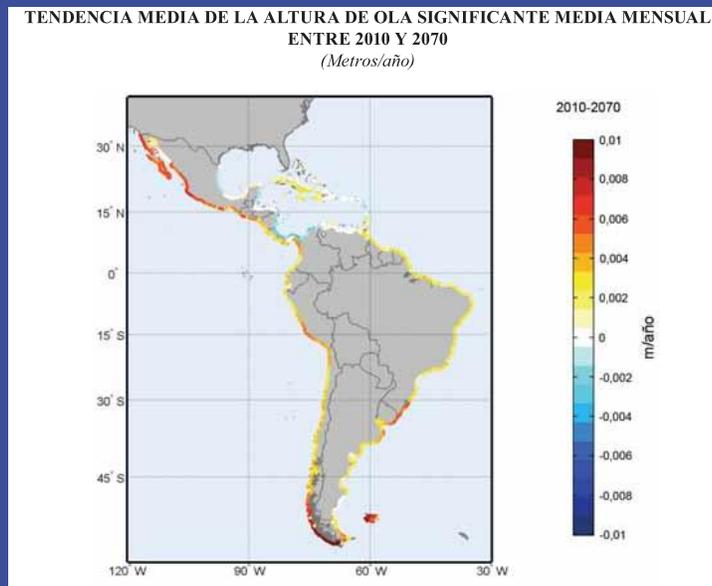
- Existen tendencias estadísticamente significante hacia el aumento de altura significativa de oleaje (Molina et al., 2011)
- También se aprecian variaciones tanto el periodo como en la dirección
- Estos cambios están correlacionados con eventos Niño/Niña, y podrían estar exacerbados por el Calentamiento Global
- Es muy relevante actualizar las metodologías para estimación de oleaje de diseño considerando estas tendencias y evaluando escenarios futuros (impacto en obras, estabilidad de playas, ecología marina, etc.)

Tendencias en el Clima de Oleaje

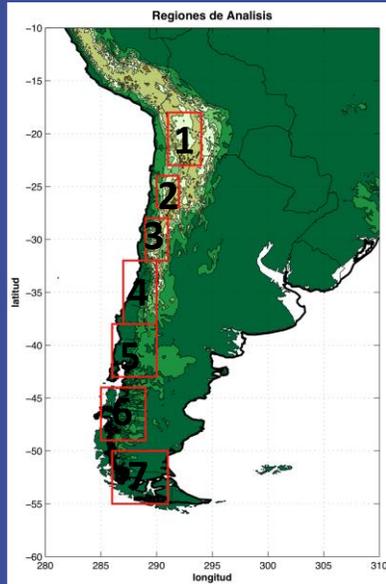
Altura de ola
significante
media mensual

- +0,3m en 2040
- +0,6 m en 2070

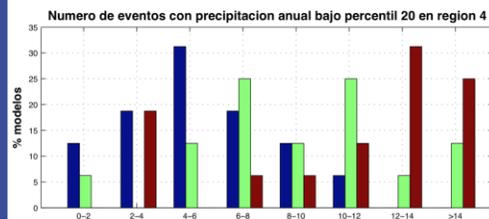
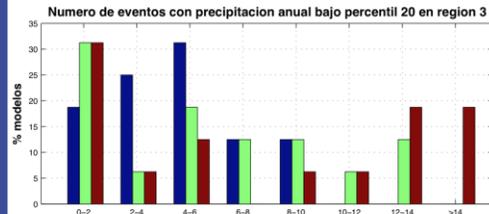
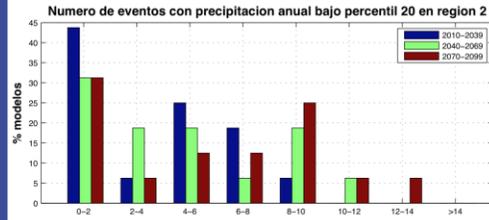
Estudio Regional de los
Efectos del Cambio
Climático en la Costa
de América Latina y el
Caribe – CEPAL, 2012



Extremo. Sequias



CEPAL, 2012

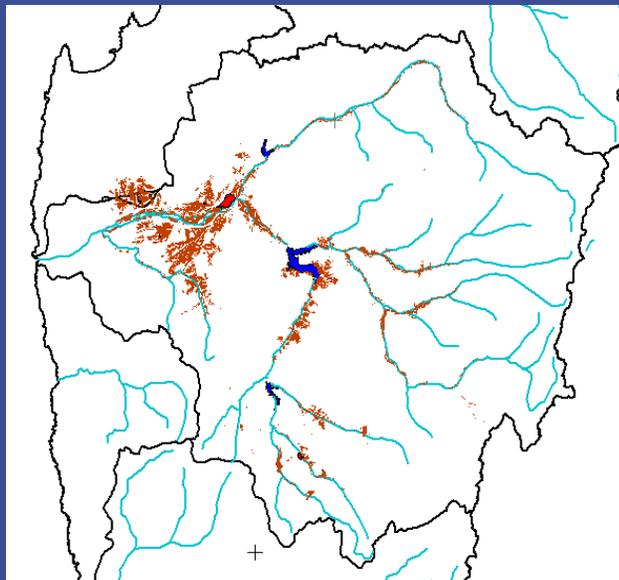


Ejemplo en cuenca del Limarí - riego

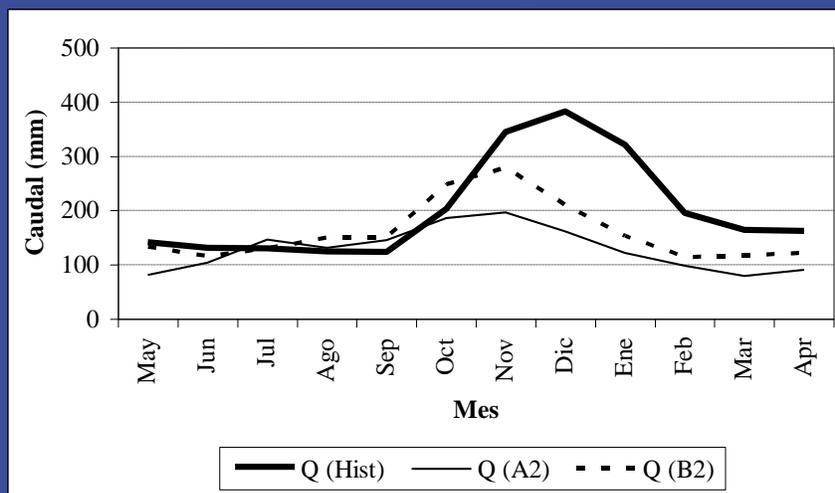
Ovalle:
100.000 hab.

Riego:
≈ 44.000 has
bajo embalse
≈ 9.000 has
sobre embalse

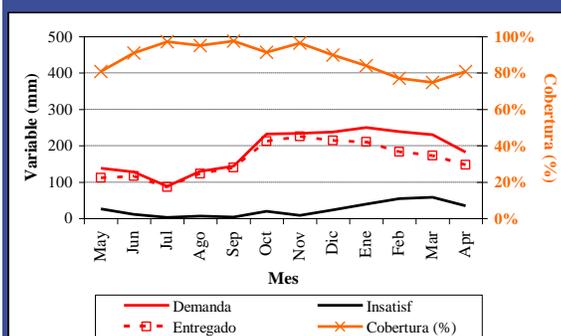
Embalses:
Recoleta:
100 Hm³
Paloma:
750 Hm³
Cogotí:
150 Hm³



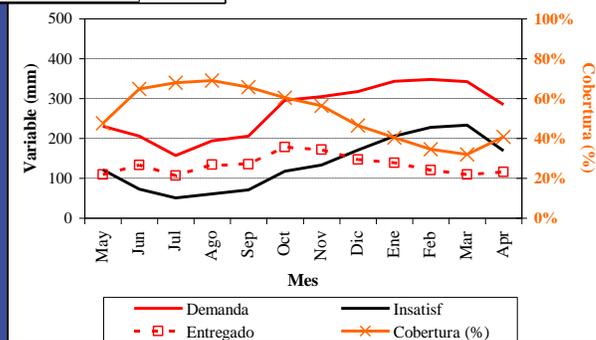
Condiciones hidrológicas futuras



Vicuna et al, 2011

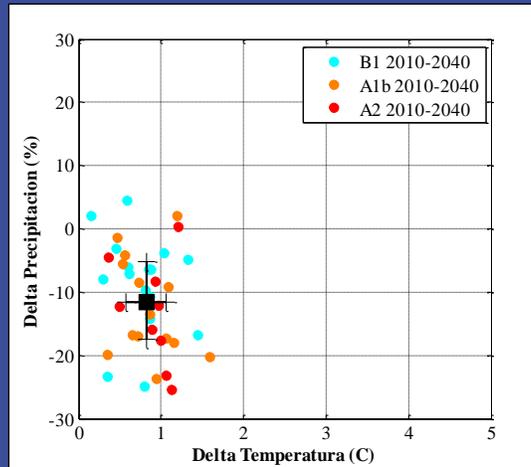


Satisfacción
histórica de riego
en zona de riego
aguas arriba
Embalse Recoleta
Comparación
Situación Histórica
con futura (A2)



Manejo de incertidumbre

La incertidumbre es menor para periodos más cercanos pese a que igual hay una señal clara



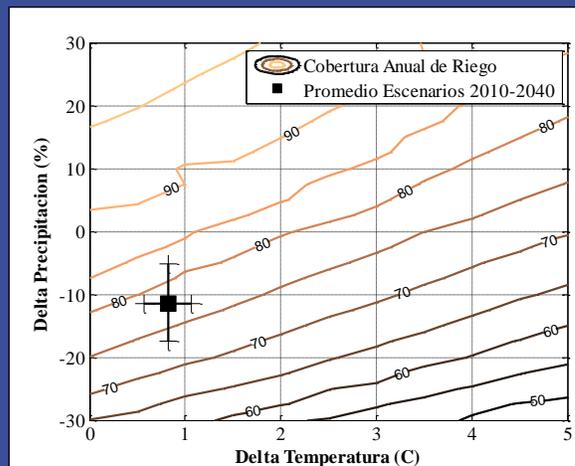
Vicuna et al, 2012



Ejemplo medida de adaptación: Construcción Embalse

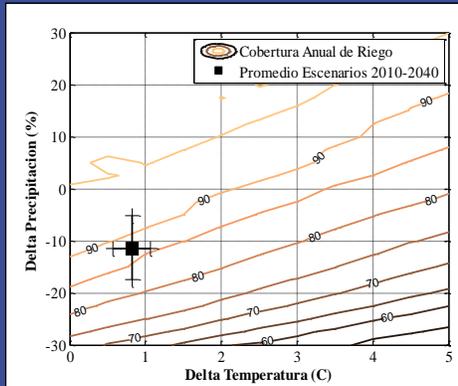
*Proyección de
cobertura anual sin
política,*

*Cuenca del Río
Hurtado*

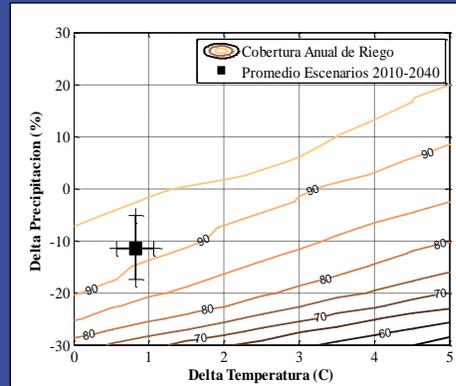


Vicuna et al, 2010

Proyección de cobertura anual con construcción de embalse de 50 y 100 millones de m³



Vicuna et al, 2010

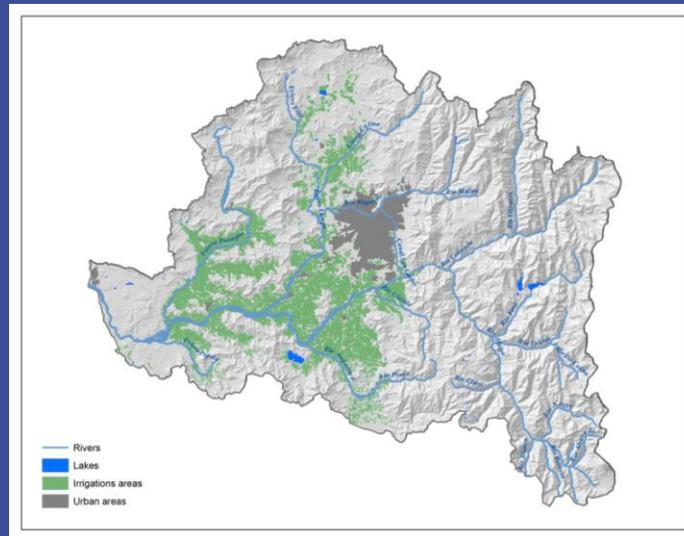


Ejemplo en cuenca del Maipo – agua potable

Santiago:
 ≈ 6 million or 40% of Chile's population

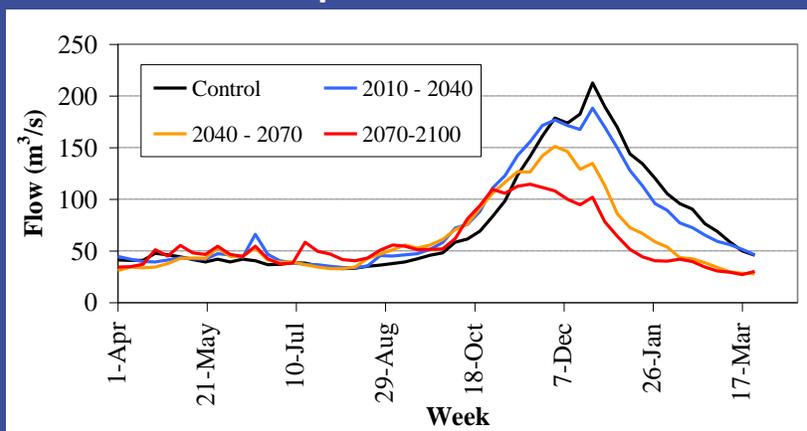
Riego:
 ≈ 250.000 has (or 16% of basin)

Embalses:
 El Yeso:
 250 Hm³



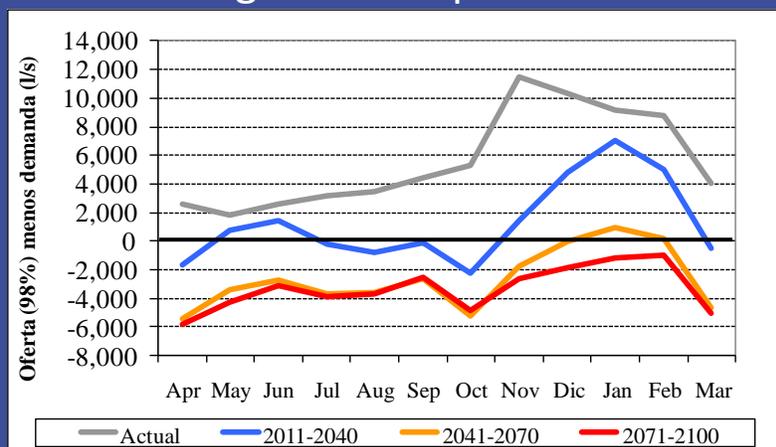
Impactos hidrológicos: Reducción y cambio en temporalidad de caudales

Example: ECHAM A1b



Meza et al, submitted

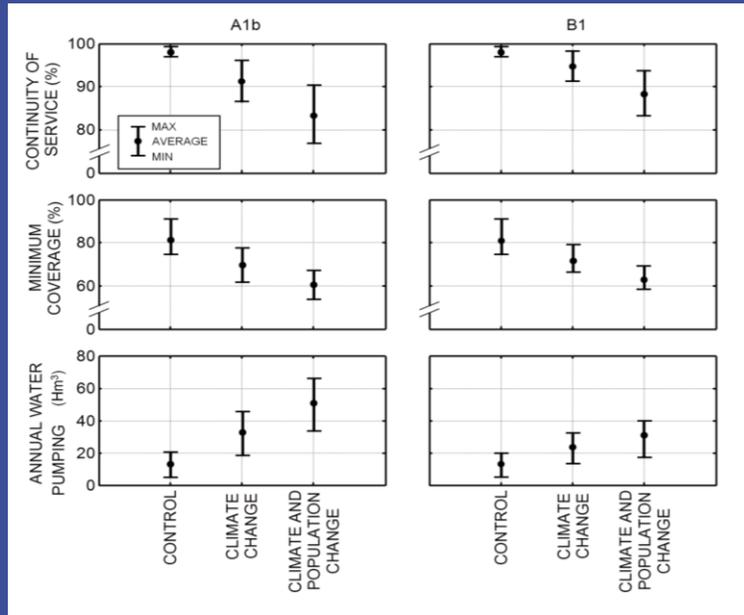
Comparación oferta y demanda de agua en Región Metropolitana



CEPAL, 2012



Diferentes maneras de medir impacto

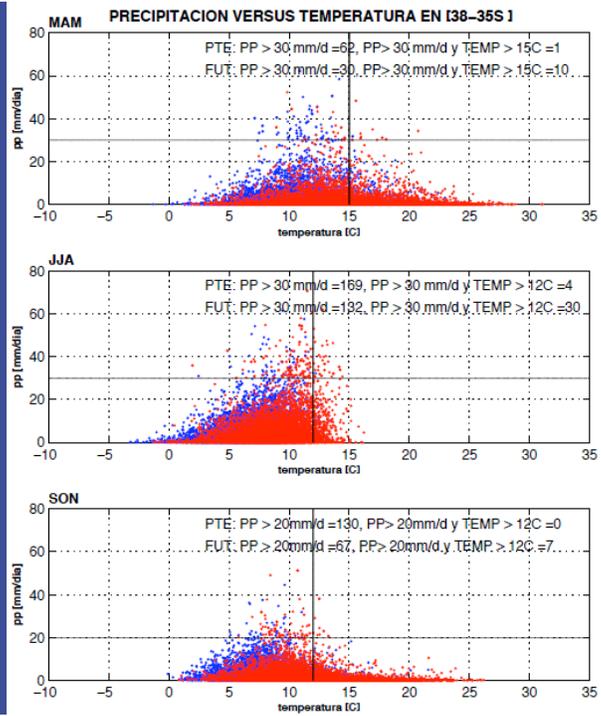


Bonelli et al, submitted

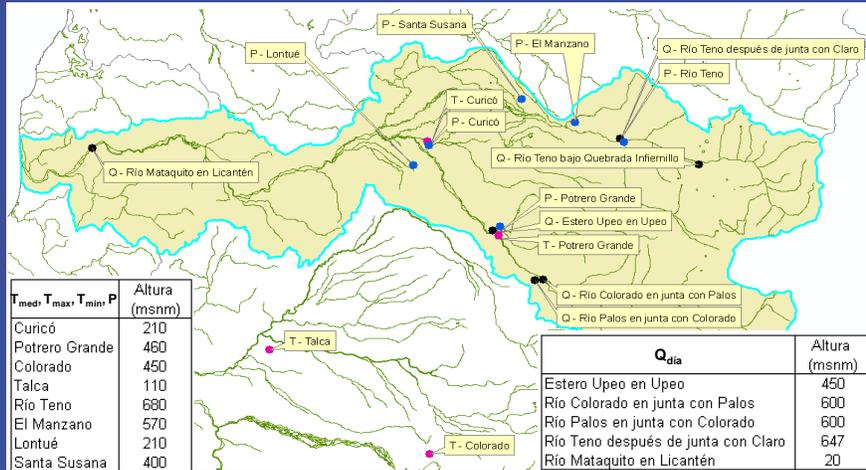


Extremos. Tormentas cálidas

CEPAL, 2012



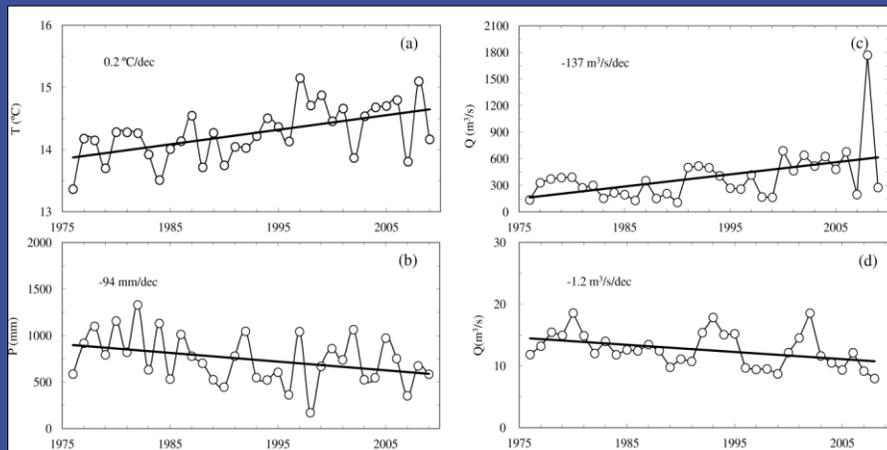
Ejemplo en cuenca del Mataquito – inundaciones fluviales (Vicuña et al., submitted)



- Series diarias
- Se rellenan de series incompletas de P y Q
- Análisis (1) estacional, (2) periodo pluvial y nival, (3) anual
- Variables hidroclimáticas e índices representativos
- Tendencias (Mann-Kendall y Regresión Lineal)



Tendencias hidroclimáticas



Ejemplos. a) Temperatura media anual en Curicó, b) Precipitación anual en Curicó, c) Caudales instantáneos máximos anuales en junta con Palos, y d) caudales mínimos de 7 días en Palos junta con Colorado.



Tendencias hidroclimáticas

Tendencias en variables climatológicas (°C/dec, mm/dec)

Variable	Station ^a	Summer	Fall	Winter	Spring	Annual
Daily mean temperature	CU	+ 0.3		+ 0.2	+ 0.6	+ 0.2
	PG	+ 0.5			+ 0.25	+ 0.2
	CO					
	TA				+ 0.15	+ 0.02
Daily maximum temperature	CU		- 0.5	+ 0.3	+ 0.6	
	PG	+ 0.9			+ 0.6	+ 0.4
	CO					
	TA					
Daily minimum temperature	CU	+ 0.5			+ 0.5	+ 0.3
	PG	+ 0.2				
	CO		- 0.4			
	TA					
Precipitation	CU			- 56	- 15	- 94
	PG					
	RT				- 48	
	EM				- 31	
	LO					
	SS			+ 70		

- Tendencias negativas en precipitaciones de primavera
- Tendencias positivas en temperaturas de primavera y verano.



Tendencias hidroclimáticas

Tendencias en índices de precipitación

Estación ¹	VERANO					OTOÑO					INVIERNO					PRIMAVERA					ANUAL									
	CU	PG	RT	EM	LO	SS	CU	PG	RT	EM	LO	SS	CU	PG	RT	EM	LO	SS	CU	PG	RT	EM	LO	SS	CU	PG	RT	EM	LO	SS
Desviación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-	-	-	N	-	N	-	-	-	N	-	-	-	-	-
R10mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-	N	-	N	-	N	-	-	-	N	-	-	-	-	N
R20mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-	-	-	-	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-	P
TDD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	P	-	-	-	-	-	P	P	-	P	-	-
RX1 day	-	-	-	-	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N	N	-	-	-	N	-	-	-	-	-
RX5 day	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-	-	-	N	-	N	-	-	-	N	-	-	-	-	-
R95% R	-	-	-	-	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-	N	-	-	-	-	-
R95% E	-	-	-	-	-	N	-	-	-	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-	-	N	-	-	-	-	-
R75% R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-	-	-	-	-	N	N	-	-	N	-	-	-	-	-
R75% E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-	-	-	N	-	N	N	N	-	N	-	-	-	-	P
P> R95% R	-	-	-	-	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-	-	N	-	-	-	-	-
P> R95% E	-	-	-	-	-	N	-	-	-	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-	-	N	-	-	-	-	-
P> R75% R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-	N	-	-	-	-	-
P> R75% E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-	-	-	N	-	N	N	N	-	N	-	-	-	-	-

¹ CU: Curicó, PG: Potrero Grande, RT: Río Teno, EM: El Manzano, LO: Lontué, SS: Santa Susana

- Se detecta una disminución en la intensidad de las medianas y grandes lluvias.
- Se detecta un aumento en la cantidad de días sin lluvia y una disminución en la cantidad de días que ocurren las grandes lluvias.
- Ambas situaciones se acentúan en primavera.
- Situación más notoria en Curicó. Ciertas diferencias en otoño e invierno

Tendencias hidroclimáticas

Resultados de tendencias en el escurrimiento

CAUDAL MEDIO Y PORCENTAJE CON RESPECTO AL VOLUMEN ANUAL

Periodo ²	Caudal medio (m ³ /s/déc.)						Porcentaje del volumen anual escurrido (%déc.)									
	V	O	I	P	A	N	PL	P-N	V	O	I	P	A	N	PL	P-N
Estero Upeo en Upeo	-0,2			-1,4	N	-0,8			-0,4	P		-2,9		-3,3	+3,3*	+6,5
Río Colorado en junta con Palos		N	P						P	N	P			-2*	+2*	+3,7
Río Palos en junta con Colorado			P						P	N	P			-2*	+2*	+3,8
Río Teno después de junta con Claro ¹		N	P					P	P		P					P
Río Mataquito en Licantén		P	P		N	P	P	P			P		-3,8		N	P

¹ Carencia de registros al inicio del periodo de estudio y la presencia del embalse El Planchón, aguas arriba de la estación, que afectan el cálculo de la tendencia
² V: verano, O: otoño, I: invierno, P: primavera, A: anual, N: nival, PL: pluvial, P-N: diferencia pluvial-nival.

RESULTADOS GENERALES

- Tendencias no significativas para Q_{medr} excepto en Estero Upeo en el época nival, primavera y verano.
- Aumento no significativo de caudales en otoño.
- Tendencia al alza de diferencia % periodo pluvial - nival. Significativa en la mayoría de las estaciones.
- El aumento del porcentaje de los caudales del periodo pluvial corresponde al alza de los caudales y del porcentaje de los caudales en otoño.

Tendencias hidroclimáticas

Resultados de tendencias en el escurrimiento

Eventos extremos

Index/Station	Snowmelt					Rainy					Difference Rainy - Snowmelt					Annual					
	UP	CP	PC	RTC	LI	UP	CP	PC	RTC	LI	UP	CP	PC	RTC	LI	UP	CP	PC	RTC	LI	
Q_{min} (m ³ /s/déc)	-0.1				n/i	-0.1	-1.3			n/i					n/i	-0.1	-1.2			n/i	
Q_{max} (m ³ /s/déc)					n/i					n/i	+86	+57	+90		n/i						
Day Q_{max} (days/déc)					n/i					n/i					n/i					-2.5	-14
Q_{max} inst (m ³ /s/déc)															n/i	+137					
Q_{min7} (m ³ /s/déc)	-0.07				n/i			-1		n/i					n/i	-1	-1.2			n/i	

Caudal máximo

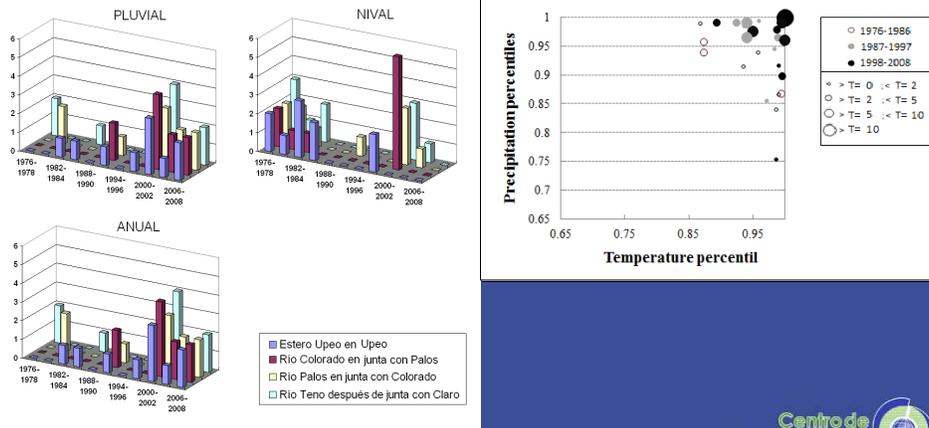
- Tendencias positivas no significativas a nivel pluvial y anual, negativas a nivel nival.
- Tendencia significativa diferencia Pluvial-Nival de caudales máximos.

Caudal mínimo de 7 días

- Tendencias negativas en Q_{min} y Low Flow para los períodos nival, pluvial y anual
- La tendencia es significativa en el periodo ANUAL para la estación Río Colorado en junta con Palos, en el periodo PLUVIAL y ANUAL para la estación Río Palos en junta con Colorado, y en el periodo NIVAL sólo para la estación Estero Upeo en Upeo.

Eventos extremos

Histograma de las 10 mayores crecidas máximas diarias, serie de excedencia anual

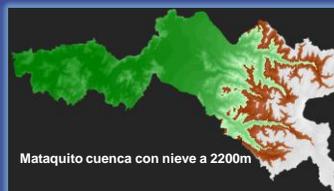


Ejemplo: comparación de dos eventos extremos

- Comparación entre 23 /mayo/2008 y 27/mayo/2002*

- Área extra de lluvia vs. nieve: 615km²
 - Equivale a un día con 597m³/s de caudal extra

	2002	2008
P 2 días previos (mm)	103.6	83.9
Caudal Máximo (m ³ /s)	931	2690
T _{max} promedio (°C)	13,0	17,4
Cota estimada línea de nieve (m)	1700	2200



* A partir de P's y T's en Curicó, adoptando una tasa de lapso de 9 °C/Km

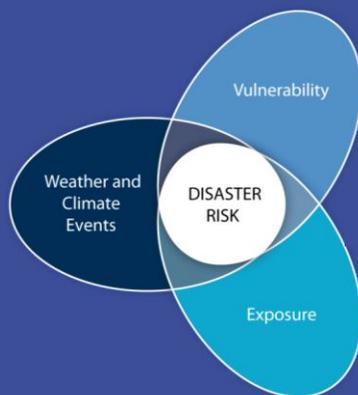
- Nieve de eventos anteriores probablemente derretida (19-20 mayo, 2008 : 49.5 mm, T_{max} 14,6 °C (cota línea de nieve ~ 1800m) . Equivalente a un día con 284 m³/s de caudal extra.
- El evento del 2008 es de menor magnitud (19,7 mm), pero produce un caudal mayor equivalente al menos a 881m³/s de caudal extra.

Conclusiones

- Los factores que contribuyen a la ocurrencia de desastres son la vulnerabilidad, exposición y amenaza climática.
- Pese a una evidencia aun limitada es posible prever que el cambio climático afecte la magnitud de la amenaza
- Para Chile es posible prever que debido al cambio climático aumente la amenaza asociada a sequias.
- No existe información a la fecha que permita proyectar aumentos en la intensidad de precipitaciones.
- Sin embargo, producto del alza esperada en temperatura es posible proyectar un aumento en la ocurrencia de inundaciones fluviales producto de tormentas cálidas.
- Un estudio regional indica que podría aumentar la altura de ola significativa. Sin embargo, no existen estudios de caso de los posibles impactos costeros asociados al cambio climático



¿Como se relaciona esto con las actividades y funciones relacionadas con construcción de infraestructura del MOP?



Las obras de infraestructura propias del MOP pueden verse afectadas por las amenazas climáticas. En este caso las obras propiamente tal son vulnerables. Esto implica revisar **criterios de diseño y de mantención de obras** para que estas mismas no sufran los impactos de los desastres (camino, puentes).

Las amenazas asociadas al cambio climático pueden aumentar la exposición a desastres (sequias, inundaciones, aluviones). En este caso se deben revisar **los criterios para la planificación (donde, cuando) y diseño (como) de necesidades de obras de infraestructura** destinadas tanto a almacenamiento y distribución de recursos hídricos (embalses, sistemas de riego, APR) como a manejo de desastres (drenaje de aguas lluvia, obras de protección costera y fluvial)

40

Anexo I.II Registro de reuniones sectoriales.

Tabla A I.II.1. Reunión Centro de Cambio Global UC – Dirección General de Obras Públicas

Fecha: 3 de Septiembre

Lugar: Dirección General de Obras Públicas.

Nombre	Servicio	Cargo
Sebastián Vicuña	CCG-UC	Director de Proyecto
Evelyn Medel	DGOP / SEMAT	Contraparte Técnica del estudio / Inspección Fiscal
Waldo Moraga	DGOP	Jefe de Unidad Prevención y Emergencias

En esta reunión se tuvo una visión general del rol del MOP en la gestión de desastres naturales. Fueron solicitados los siguientes documentos para su revisión:

1. Gestión para la reducción del riesgo de desastres en el MOP

Tabla A I.II.2. Reunión Centro de Cambio Global UC - Dirección de Obras Portuarias- Diseño

Fecha: 13 de Septiembre.

Lugar: Dirección de Obras Portuarias.

Nombre	Servicio	Cargo
Sebastián Vicuña	CCG-UC	Director de Proyecto
Rodrigo Cienfuegos	CCG-UC	Investigador-Experto sectorial
Sebastián Bonelli	CCG-UC	Investigador Asociado
Evelyn Medel	DGOP / SEMAT	Contraparte Técnica del estudio / Inspección Fiscal
Eduardo Mesina	DOP	Jefe de División de Proyectos
Cristina Contzen	DOP	Encargada Medio Ambiente y Participación Ciudadana

Las amenazas vinculadas a la infraestructura de la Dirección de Obras Portuarias se relacionan sobre todo con cambios potenciales en el clima de oleaje. Los periodos de retorno en que se basa el diseño de obras tales como defensas fluviales podrían estar asociados a mayores alturas de oleaje en caso de considerar escenarios de proyección. En este sentido, la presente reunión permitió identificar los procedimientos en que se basa el diseño de la infraestructura portuaria de la DOP. Este diseño se basa en los requerimientos establecidos por el SHOA, mediante su instructivo "Clima oleaje". La modelación de tormentas se hace en base a la generación de "boyas virtuales", con la estadística histórica disponible. El diseño de estas tormentas indica altura, dirección y energía del oleaje. Salvo casos de emergencia, el diseño de obras se licita a terceros, mediante los términos de referencia correspondientes.

Fueron solicitados los siguientes documentos para su revisión:

1. SHOA, instructivo Clima Oleaje. Información base de diseño.
2. TDRs por tipos de obra.
3. Manual de conservación por obra.

Tabla A I.II.3. Reunión Centro de Cambio Global UC - Dirección de Obras Portuarias - Planificación

Fecha: 20 de Septiembre, 2012.

Lugar: Dirección de Obras Portuarias.

Nombre	Servicio	Cargo
Sebastián Vicuña	CCG-UC	Director de Proyecto
Rodrigo Cienfuegos	CCG-UC	Investigador-Experto sectorial
Sebastián Bonelli	CCG-UC	Investigador Asociado
Evelyn Medel	DGOP / SEMAT	Contraparte Técnica del estudio / Inspección Fiscal
Ariel Grandón	DOP	Jefe Sección de Planificación Territorial
Solange Bacigalupo	DOP	Profesional de Apoyo Sección de Planificación Territorial

Respecto a la planificación de obras portuarias, fue posible identificar que el requerimiento de inversiones de este tipo nace a partir de las necesidades y prioridades de las regiones, las que son canalizadas a través de los planes de infraestructuras regionales del MOP. La evaluación social de proyectos se asocia a las metodologías de evaluación del Ministerio de Desarrollo Social.

Fueron solicitados los siguientes documentos para su revisión:

1. Planes de conservación de obras.
2. Términos de referencia de proyectos de conservación y protección.
3. Requerimientos metodológicos. En especial información relacionado con clima de oleajes - SHOA
4. Historial de proyectos.

Tabla A I.II.4. Reunión Centro de Cambio Global UC - Dirección de Obras Hidráulicas

Fecha: 13 de Septiembre, 2012.

Lugar: Dirección de Obras Hidráulicas.

Nombre	Servicio	Cargo
Sebastián Vicuña	CCG-UC	Director de Proyecto
Jorge Gironás	CCG-UC	Investigador-Experto sectorial
Sebastián Bonelli	CCG-UC	Investigador Asociado
Evelyn Medel	DGOP / SEMAT	Contraparte Técnica del estudio / Inspección Fiscal
Pablo Lecaros	DOH	Inspector Fiscal Ambiental
Salvatore Cucurullo	DOH	Inspector Técnico Obras Convenios APR
Myriam Hinojosa	DOH	Jefatura Unidad Participación Ciudadana
Juan Gonzales	DOH	Ingeniero de Proyectos
Jorge Atala	DOH	Inspector convenios APR
Reinaldo Fuenzalida	DOH	Jefe Departamento de Proyectos APR
Boris Mihovilovic	DOH	Jefe Departamento Nacional Medio Ambiente y Territorio
Milo Millán	DOH	Jefe División de Cauces y Drenaje Urbano

La DOH es responsable de la ejecución de obras como Sistemas APR, Obras de drenaje de aguas lluvias, Obras de manejo de cauces y Obras de riego. Altamente relevante ha sido identificar el rol de la Comisión Nacional de Riego como institución parcialmente responsable de la planificación de grandes obras de riego con objetivos de regulación (embalses), conducción y captación. Participan también de este proceso de decisión estratégica, procedimientos tales como las Estrategias Regionales de Desarrollo, los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial y los Planes Directores de Recursos Hídricos a nivel de cuenca. Cobra relevancia también la existencia de un módulo para la evaluación de cambio climático en el diseño de obras, el cual ha sido incorporado en los términos de referencia de algunas de las obras licitadas por la DOH. La evaluación social se asocia a metodologías establecidas por el Ministerio de Desarrollo Social.

Fueron solicitados los siguientes documentos para su revisión:

1. Términos de Referencia de tipologías de obras: de protección fluvial, para diferentes regiones; proyectos de APR; diseño de embalses.
2. Estudios disponibles de pre factibilidad proyectos de riego.
3. Metodologías relacionadas con la elaboración de Planes Maestros de evacuación de aguas lluvias.
4. Documento denominado "Infraestructura Hidráulica del Chile 2020"

Tabla A I.II.5. Reunión Centro de Cambio Global UC - Dirección de Vialidad

Fecha: 2 de Octubre, 2012.

Lugar: Dirección de Vialidad.

Nombre	Servicio	Cargo
Sebastián Vicuña	CCG-UC	Director de Proyecto
Jorge Gironás	CCG-UC	Investigador-Experto sectorial
Sebastián Bonelli	CCG-UC	Investigador Asociado
Evelyn Medel	DGOP / SEMAT	Contraparte Técnica del estudio / Inspección Fiscal
Nelson Toro	Dirección de Vialidad	Jefe Departamento Proyecto Viales Interurbanos
Juan Cofré	Dirección de Vialidad	Administrativo Conservación por Administración Directa
Mónica Jorquera	Dirección de Vialidad / Subdirección de Desarrollo	Profesional Departamento Planes Infraestructura vial
Carlos Herrera	Dirección de Vialidad	Jefe Departamento Medio Ambiente y Territorio
Daniela Latrach	Dirección de Vialidad	Profesional Departamento Medio Ambiente
Bárbara Zamora	DGOP / SEMAT	Coordinadora de Gestión
Ximena Krauss	Dirección de Vialidad	Jefa Departamento Planes Infraestructura Vial
Marly Flores	Dirección Vialidad	Jefa Proyectos urbanos

Se ha identificado el Manual de Carreteras (MOP, 2012) como documento clave para el presente estudio. A diferencia de otras divisiones del MOP, Vialidad cuenta con este manual como documento director del diseño de obras bajo su responsabilidad. En este sentido, el manual cuenta con criterios de diseño, precisa periodos de retorno utilizado y las metodologías de proyección establecidas en base a datos históricos. En esta reunión también se discutió ampliamente la relevancia que tiene la Evaluación socio-económica del Ministerio de Desarrollo Social en la priorización y selección de obras. Se reconoce que este instrumento en ciertas ocasiones limita el desarrollo de proyectos de infraestructura vial, debido a las dificultades para demostrar beneficios netos. Finalmente, en la reunión se discutió la necesidad de definir metodologías operacionales para abordar el cambio climático, basadas en indicadores y rangos de valores de éstos que indiquen posibles intervenciones al mediano y largo plazo. Se reconoce la dificultad de lograr esto dada la incertidumbre existente, a la vez que se menciona que el diseño actual ha dado buenos resultados. Llo anterior parece razonable dado los periodos de retorno usados en el diseño y verificación (100 y 150, y 200 y 300, para puentes en caminos y carreteras, respectivamente).

Tabla A I.II.6. Reunión Centro de Cambio Global UC - Dirección General de Aguas / Dirección de Planificación

Fecha: 5 de Octubre, 2012.

Lugar: Dirección General de Aguas.

Nombre	Servicio	Cargo
Sebastián Vicuña	CCG-UC	Director de Proyecto
Sebastián Bonelli	CCG-UC	Investigador Asociado
Evelyn Medel	DGOP / SEMAT	Contraparte Técnica del estudio / Inspección Fiscal
Juan Atán Díaz	DGA	Estudios
Mónica Baeza	DIRPLAN	Arquitecto Profesional de Apoyo
Lucía Ganter	DIRPLAN	Encargada Participación Ciudadana
Leonardo Lillo	Dirección de Arquitectura	Administrador de Proyectos
Diego San Miguel	DGA	Jefe Unidad de Desarrollo
Miguel Ángel Caro	DGA	Profesional de Estudios
Julio Moraga	DGA	Subagente de Expedientes

La reunión permitió discutir los procesos de decisión estratégica y de planificación de las obras de infraestructura del MOP y los vacíos y fronteras que se considera debiesen ser abordados. En este contexto, se planteó la discordancia entre los horizontes de evaluación en contraste con la vida útil de algunas obras, y la falta de estandarización respecto a los procedimientos de las distintas divisiones para dirigir sus procesos de planificación y diseño. En este sentido, se observa que el cambio climático es un elemento considerado en diversos manuales (*Guía para la elaboración de planes-* manual para planes de infraestructura regional-, *Planes directores de recursos hídricos, TDRs*), quedando aun trabajo por realizar para concretar metodologías claras para su incorporación en dichos procesos.

Fueron solicitados los siguientes documentos para su revisión:

1. Guía para la elaboración de planes
2. Planes regionales para la gestión de recursos hídricos
3. Ejes estratégicos Nacionales de recursos hídricos

Anexo II: Informe de gestión Taller de Validación.

Durante la tarde del día 21 de Noviembre, luego del Seminario Internacional, se realizó un Taller de Validación. El taller contó con 20 participantes, 12 de ellos profesionales de servicios públicos (principalmente Ministerio de Obras Públicas y del Ministerio de Medio Ambiente) y el resto de profesionales que participan en el estudio por parte de la PUC.

A continuación se presenta el programa del Taller de Validación y el listado de participantes de los servicios públicos y su información de contacto:




PROGRAMA TALLER DE VALIDACIÓN

Proyecto "Enfoque metodológico para evaluar la adaptación al cambio climático en la infraestructura pública del MOP"

Miércoles 21 de Noviembre de 2012

Lugar de realización: Hotel Atton Vitacura
Salón Maipo
Vitacura 3201, Vitacura
Santiago

HORARIO	TEMA/ACTIVIDAD	EXPOSITOR
14:15 – 14:30 horas	Bienvenida y marco de contexto del Taller	Sr. Sebastián Vicuña, Director Ejecutivo Centro de Cambio Global UC
14:30 – 14:50 horas	Elementos conceptuales	Sr. Sebastián Vicuña
14:50 – 16:00 horas	Análisis y discusión grupal metodología	
16:00 – 16:15 horas	CAFÉ	
16:15 – 17:15 horas	Trabajo en torno a fichas de obras de infraestructura junto a equipo de expertos sectoriales: <ul style="list-style-type: none"> Sebastián Vicuña: Grupo Manejo Cauces / Vialidad / Aguas lluvia. Guillermo Donoso: Grupo APR / Riego Rodrigo Cifuentes: Grupo Infraestructura Portuaria y costera 	
17:15 – 17:30 horas	Cierre	Sr. Sebastián Vicuña,

Figura A II.1. Programa Taller de Validación CCG-UC-MOP.

Tabla A II.1. Participantes del Taller de Validación CCG UC - MOP

Nombre	Institución
Andrea Osses	DGA, división de estudios y planificación
Maritza Jadrijevic	Oficina CC MMA
Salvatore Cucurullo	MOP, MOP, APR
Evelyne Medel	DGOP
Milo Millán	MOP, DOH
María Angélica Arellano	MOP, SEMAT
Gloria Muñoz Mendoza	MOP, Dirección de Vialidad, subdirección de desarrollo
Nelsón Toro	MOP, Dirección de Vialidad, subdirección de desarrollo
Cristina Contzen	MOP, Dirección de Obras Portuarias
Raúl Oberreuter	MOP, Dirección de Obras Portuarias
Ariel Grandón	MOP, Depto. planificación Obras Portuarias
Patricia Vivallo	Borde costero de obras portuarias

El taller se desarrolló entre las 14:00 y 18:00 horas, y consistió en las presentaciones señaladas en el programa y en los espacios de participación (análisis grupal y revisión y complementación de fichas), la que fue muy activa. Para la última actividad programada (trabajo en torno a fichas de obras de infraestructura), los participantes se dividieron en tres grupos, cada uno a cargo de un profesional del equipo técnico del proyecto, quienes guiaron la discusión:

Tabla A II.2. Grupos de trabajo de análisis y complementación de las fichas por obra de infraestructura.

Temas del grupo	Profesional PUC a cargo
Manejo de cauces / Vialidad / Aguas lluvia	Sebastián Vicuña
APR / riego	Guillermo Donoso
Infraestructura Portuaria y Costera	Rodrigo Cienfuegos

Resultados Taller

Bienvenida y marco de contexto del Taller. Sebastián Vicuña da la bienvenida a la actividad y explica el marco de contexto del taller, asociado al estudio que está ejecutando la PUC por encargo del MOP "Enfoque metodológico para evaluar la adaptación al cambio climático en la infraestructura pública del MOP".

Elementos conceptuales. Sebastián Bonelli compartió la revisión de la literatura internacional respecto al tema del estudio, adelantando que no hay metodologías claras y consensuadas a seguir. Se comenta que el profesor Iñigo Losada fue bastante claro en esto, mencionando que hay algunas experiencias, algunos países que han avanzado en algunos territorios o temas, pero que no existen experiencias avanzadas que sirvan de base metodológica en el presente estudio.

Además, se mencionó que los países desarrollados no tienen las mismas necesidades de infraestructura que un país como Chile requiere, ya que tienen bastante resueltas sus necesidades, y por tanto no están planificando grandes obras.

Ante la pregunta específica acerca de si existen en Latinoamérica políticas o ejercicios de planificación estratégica en cambio climático e infraestructura, se responde que no. Sólo Colombia está avanzando en el tema, pero a un nivel de avance que no permite seguirlo como modelo.

Se explica los informes del IPCC y el Informe del SREX son los documentos internacionales de base en el tema de la adaptación. Más que llegar a una metodología concreta como la que se busca en este estudio, aborda las aproximaciones que se deben tomar para adaptar la infraestructura al Cambio Climático (conceptos, recomendaciones, herramientas).

A su vez, el informe del SREX (impactos en infraestructura) entrega medidas estructurales, pero sin ahondar en metodologías para incorporar cambio climático en los procesos de planificación y diseño de infraestructura.

Análisis y discusión grupal metodología. Para comenzar con el análisis y la discusión grupal acerca de la metodología, Sebastián Vicuña expone acerca del enfoque metodológico en que se ha avanzado durante la realización del estudio. Así, se revisó la sensibilidad de las obras de infraestructura frente al Cambio Climático, mostrando la relación entre los sectores y sistemas en cuanto a la infraestructura y su relación directa o indirecta con el Cambio Climático. Como lineamientos metodológicos, se ha considerado la adaptación (es un proceso de aprendizaje y monitoreo), complementa Gestión del Riesgo, es relevante para obras de horizontes largos; la importancia de reconocer desafíos en términos de información y metodologías; y que el MOP tiene influencia acotada.

Se considera que la pertinencia de incluir el Cambio Climático en la evaluación de una obra depende de la obra, y tiene relación con la necesidad del servicio de infraestructura y luego con la materialización misma de la obra.

Respecto a la necesidad de servicio, la pregunta es: ¿es la necesidad sensible a las condiciones climáticas? Dependiendo de la respuesta se debiese seguir o no con proceso tradicional.

Respecto a la materialización misma de la obra, las preguntas son: ¿es sensible la obra a condiciones climáticas? Dependiendo de la respuesta se debiese seguir o no con proceso

tradicional. ¿Tiene la obra un horizonte de vida largo? Dependiendo de la respuesta, si es de corta duración se debiese hacer monitoreo y actualización de información de base.

Se explicita que el presente estudio no va a desarrollar una metodología específica, ya que el objetivo del mismo es afinar esta primera parte, partiendo con análisis de criterio simple. Si bien con cierto tipo de obras suena lógico empezar desde hoy, con otras no.

Se plantea cómo se comparan los costos de generación de información específica con los costos de inversión. Como ejemplo, se plantea el costo asociado a una APR para 1.000 personas, donde es poco probable que los costos asociados a la generación de información para estimar disponibilidad futura de esa población se justifiquen a la luz de los costos de inversión. En estos casos, se debiese hacer monitoreo y actualización de información de base e información costos. En este sentido, se concuerda en que podría levantarse la información para una cuenca, donde ésta aporta a necesidades de varias obras, y así los costos de generarla no se asocian solo a un proyecto sino que a varias, disminuyendo para cada uno de ellos.

Se plantea por parte de un profesional del MOP que ellos tienen la capacidad de enfrentar las soluciones a los problemas, pero que en este caso (el cómo se afectaría una obra frente al Cambio Climático) no cuentan con los insumos básicos para eso. La pregunta específica es si existe consenso de cómo el Cambio Climático va a impactar, por ejemplo: ¿cuánto se incrementará la precipitación, temperatura, la ocurrencia de eventos extremos? Frente a este planteamiento, se indica que en las proyecciones de Cambio Climático existe incertidumbre. La ventaja es que en Chile los modelos tienden a coincidir bastante por ejemplo en reducción de precipitación en la zona central, lo cual depende de condiciones de vulnerabilidad de base.

Respecto al tema político que incide en trabajos de este tipo, se evalúa positivamente que estuviera el Ministerio de Desarrollo Social hoy en la mañana en el seminario.

A continuación se plantea para discusión ¿Cuál es el **rol del MOP** en el proceso de adaptación al cambio climático?

Este es un rol de asegurarse que las obras presten el servicio por el cual fueron concebidos y construidos, y estar atentos a nuevos requerimientos. Realizan super-vigilancia y fiscalización en el caso de obras portuarias (además de incorporar variables), y también determinan lineamientos de proyectos privados. Se harán estudios con el SHOA respecto al clima y el oleaje.

Cabe señalar que si bien el rol del MOP se asocia a la infraestructura, existen iniciativas de planificación de infraestructura en el país, donde hay otros organismos como el Ministerio de Vivienda y Urbanismo que planifica desarrollo urbano, con el que se necesita hacer sinergia para que lo que se haga desde el MOP respecto al Cambio Climático se coordine con la política urbana. Así, se concluye el rol del MOP es acotado.

Podrían generarse medidas de planificación territorial, como por ejemplo evaluar de qué manera trasladar asentamientos a zonas más seguras. A su vez hay que considerar que las obras que se construyen pueden dar falsa idea de protección y por ende ser más riesgosas. El problema es que sin Cambio Climático el tema de la planificación territorial no se ha podido hacer en forma eficiente, por tanto se vislumbra difícil incorporar esta variable.

Si los efectos del Cambio Climático apuntan a reducción de precipitaciones y a la mayor ocurrencia de eventos extremos, el área de vialidad del MOP debiese entrar muy fuerte. Pregunta crítica para esta unidad es: ¿habrá cambios en los caudales para el período en que se usará un puente determinado? Se hace análisis de riesgo, cómo cambia esa variable de diseño, y si cambia, incorporar ese cambio en el proyecto de ingeniería. Otro punto relevante es la escala la cual se asocia el diseño de una obra: respecto a obras de evacuación y drenaje de aguas lluvia, la información meteorológica necesaria para el diseño es a una escala espacio-temporal muy reducida. No se cuenta actualmente con herramientas o metodologías que permitan desarrollar proyecciones de cambio climático a ese nivel de detalle.

Se señala que el MOP está haciendo estudios respecto a lugares donde la conectividad pueda verse interrumpida por eventos de riesgo que podrían darse por Cambio Climático, entre otras causas.

Se sugiere crear unidad independiente de tema político en el MOP dándole el peso al Cambio Climático. Algo similar a lo planteado en el protocolo de Kyoto (gestión del riesgo de desastres naturales), para que sea algo permanente. Luego de eso, el MOP podría tomar un rol transversal en el Ministerio. Se destaca el Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad como mecanismos apropiado para lograr que el tema se aborde de forma transversal y consistente en el tiempo, y se plantea que debieran existir procedimientos análogos también en otras direcciones. Ahora se está trabajando en manual de obras portuarias. SEMAT cumple en parte lo planteado.

Información

Respecto a la Información con que se cuenta hoy son proyecciones, las cuales podrán comprobarse en un tiempo más si son o no certeras. Para diseñar infraestructura portuaria de embarcaciones, se necesita estadística de oleaje de 20 años pasados y de los 20 años que vienen, y a medida que pase el tiempo se va a ir verificando y adecuando.

El MOP hace estudios de levantamiento de información que son de gran magnitud y de alto costo, donde cada división hace estudios de pre-factibilidad y factibilidad por separado. Si se tiene capacidad de hacer estudios de esa envergadura, sumándola podría hacerse un solo estudio por territorio, y así se podrían hacer más. La evaluación de los cambios que están ocurriendo es muy importante, ya que es distinto cuando hay información actualizada, siendo importante por el sentido de urgencia.

Respecto a la Modificación a la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente, se comenta que se debe tener una gran base de datos con información actualizada. Cada vez que el MOP tiene que hacer un proyecto en una región pide lo mismo, no habiendo conexión entre todos los proyectos de inversión pública que se hacen en esa región. Y además obligación del MMA es tenerla centralizada y se está trabajando en ello.

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático debe ser marco y paraguas, y debe tener un marco de referencia respecto a los escenarios, con datos de clima. El MOP también debe tener un sistema de monitoreo de obras respecto a cómo se comportan frente al clima y como éste se está modificando.

Se comenta que es importante caracterizar la vulnerabilidad, y la exposición.

Opinión respecto a la Metodología presentada

El estudio busca desarrollar un enfoque metodológico, y de a poco ir bajando en los distintos servicios del MOP. En nivel estratégico.

La mirada global que se plantea sirve para focalizar esfuerzos y definir por tipología de proyectos haciendo lo más urgente, y seguimiento en los otros casos.

Hay consenso en que el planteamiento del enfoque metodológico es lógico y hace sentido.

Respecto al tamaño de una obra: En caso de embalse vale la pena hacer estudio de Cambio Climático. Pero obras pequeñas (200 ó 300 contratos de pequeñas obras: estudio a nivel de cuenca ya que no vale la pena hacerlo caso a caso).

Se menciona que cuesta tiempo consensuar metodologías generales. En el área de vialidad los especialistas ya empiezan a hacer consideraciones, por ejemplo valorizan que isoterma 0 aumenta, o ahora en zonas costeras se subió a 2 metros. Probablemente hoy se están haciendo cosas que reducen vulnerabilidad del servicio ofrecido por esa obra y que son medidas de adaptación. Sería bueno ponerlos en ese contexto, y consignarlo.

Cuánto vale coleccionar estudios para evaluar Cambio Climático. No ahora, sino que en el estudio que viene. Desafío es que este límite sea bastante claro.

¿Quién va a pagar el monitoreo? Cuando se presenten proyectos a Hacienda, no creen que esa parte se las vayan a aprobar. En el caso de la DGA logran comprar equipos, pero no hay plata para mantenerlas o para ir a medir, o que no se pueden analizar (no hay personal para ello). Ejemplo: estaciones meteorológicas, planes de alerta temprana.

Hay posible asociación virtuosa con proyectos que deben hacer los privados exigidos por el sistema de calificación ambiental. ES importante de parte del estado el cómo usar de mejor manera la información que ya existe y la que se puede tomar a futuro. Es importante saber qué tipo de información se necesita y a quien relacionarla. Proyectos privados que les exigen estación de monitoreo ambiental, que mide, pero no está en línea con la institución que debería tomarla y usarla para conectar. SERNAGEOMIN tiene un buen modelo respecto a lo anterior.

Tema de información debiese estar incluido en la metodología planteada. Considerar el registrar.

Trabajo en torno a fichas de obras de infraestructura

Los grupos formados revisaron la información provista en las fichas, validando los procedimientos indicados, y complementando y/o corrigiendo información, considerando la opinión de todos los integrantes del grupo, y siendo guiados por el especialista de la PUC a cargo de cada uno de ellos.