



# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE CENTRO DE CAMBIO GLOBAL UC

“PROPUESTA DE UN PORTAFOLIO DE MEDIDAS PARA ELABORAR EL  
PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA  
INFRAESTRUCTURA”

Informe Final

---

Para  
Ministerio del Medio Ambiente  
Noviembre de 2014

---

Centro Cambio Global UC  
Av. Vicuña Mackenna 4860 - Campus San Joaquín - Santiago - Chile  
Fono: 56-02- 354 79 11 - E-mail [cambioglobal@uc.cl](mailto:cambioglobal@uc.cl)  
[www.cambioglobal.uc.cl](http://www.cambioglobal.uc.cl)

Informe Final

PROPUESTA DE UN PORTAFOLIO DE MEDIDAS PARA ELABORAR EL PLAN DE ADAPTACIÓN AL  
CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA INFRAESTRUCTURA

**Sebastián Vicuña D.**  
Director de Proyecto

**Francisco Meza**  
Investigador Experto

**Jorge Gironás**  
Investigador Experto

**Rodrigo Cienfuegos**  
Investigador Experto

**Guillermo Donoso**  
Investigador Experto

**Pilar Lapuente**  
Coordinadora de proyecto

**Manuela Penas, Paula Ahumada, Maximiano Letelier**

Apoyo a Expertos

## Índice

Prólogo .....	5
I. Introducción .....	7
II. Síntesis de la revisión bibliográfica: conceptos .....	9
III. Cambio Climático en Chile: Proyecciones y potenciales amenazas y oportunidades ....	12
A. Generación de escenarios de cambio climático .....	12
B. Amenazas y oportunidades del cambio climático a nivel regional y en Chile .....	17
1. Cambio en patrón de precipitaciones y aumento en intensidad y frecuencia de sequías	22
2. Inundaciones fluviales .....	25
3. Impactos costeros.....	30
IV. Servicios de infraestructura y adaptación al cambio climático .....	36
A. Introducción: estrategia de inclusión de la adaptación al cambio climático en los servicios de infraestructura.....	36
B. Línea de acción 1: Coordinación intra e interministerial.....	40
<i>MEDIDA 1. Coordinación intraministerial - Ministerio de Obras Públicas.....</i>	40
<i>MEDIDA 2. Coordinación con Plan Nacional de Adaptación y Planes Sectoriales de Adaptación .....</i>	40
<i>MEDIDA 3. Inclusión del cambio climático en Plataforma Nacional de reducción del riesgo de desastre (RRD) que coordina ONEMI.....</i>	42
C. Línea de acción 2: Mejoras en monitoreo de amenazas .....	44
<i>MEDIDA 4. Mejoras en monitoreo en disponibilidad de recursos hídricos .....</i>	45
<i>MEDIDA 5. Mejoras en monitoreo de caudales extremos .....</i>	55
<i>MEDIDA 6. Mejoras en monitoreo de amenazas costeras .....</i>	59
D. Línea de acción 3: Mejoras en monitoreo vulnerabilidad de servicios de infraestructura existentes .....	61
<i>MEDIDA 7. Mejoras en monitoreo vulnerabilidad de servicios de infraestructura existentes..</i>	61
E. Línea de acción 4: Introducción de cambios metodológicos para la evaluación de impactos del cambio climático y medidas de adaptación en obras de infraestructura .....	68
<i>MEDIDA 8. Incorporación de cambios metodológicos en la evaluación económica de obras de infraestructura con perspectivas de largo plazo .....</i>	70
<i>MEDIDA 9. Incorporación de cambios metodológicos en las etapas de desarrollo de obras de infraestructura asociadas a la provisión de recursos hídricos .....</i>	78
<i>MEDIDA 10. Incorporación de cambios metodológicos en la etapa de desarrollo de obras de infraestructura asociadas a conectividad y de protección que se pueden ver afectados por eventos extremos de origen hidrometeorológico .....</i>	84
<i>MEDIDA 11. Incorporación de cambios metodológicos en la etapa de desarrollo de obras de infraestructura en zonas costeras.....</i>	94
F. Fichas Resumen de las medidas de Adaptación .....	97

G. Análisis jerárquico para la priorización temporal en la implementación de medidas de adaptación.....	107
V. Conclusiones.....	109
Referencias.....	110
Anexo 1: Ciclo de Vida Obras.....	117
Anexo 2: Resultados de Reuniones bilaterales y Talleres Intersectoriales.....	120
A. Reuniones bilaterales.....	120
1. Amenaza por escasez del recurso hídrico.....	120
2. Amenaza por Inundaciones Fluviales.....	121
3. Amenaza por Inundaciones Costeras.....	121
4. Inversión y Política Pública.....	122
B. Taller 1 - Mesas de Trabajo.....	123
1. Amenaza por escasez del recurso hídrico.....	124
2. Amenaza por Inundaciones Fluviales.....	124
3. Amenaza por Inundaciones Costeras.....	125
4. Inversión y Política Pública.....	125
C. Presentación Taller 1 - Mesas de Trabajo.....	127
D. Taller Final - Resultados.....	143
1. Amenaza por escasez del recurso hídrico.....	144
2. Amenaza por Inundaciones Fluviales.....	145
3. Amenaza por Inundaciones Costeras.....	146
4. Inversión y Política Pública.....	146
E. Presentación Taller Final - Resultados.....	148

## Prólogo

Mediante el presente documento, el Centro de Cambio Global (CCG-UC) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (UC) en colaboración con el Centro Nacional de Investigación para la Gestión Integrada de Desastres Naturales (CIGIDEN), presenta el Informe Final del estudio ***“Propuesta de un Portafolio de Medidas para Elaborar El Plan de Adaptación al Cambio Climático para la Infraestructura”***, requerido por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) en su rol de coordinador de los avances en materia de Adaptación al Cambio Climático.

Este trabajo sigue en la línea de una serie de Estudios realizados en Chile en la línea de Adaptación de la Infraestructura frente al Cambio Climático desarrollado por el equipo consultor. En el año 2012 la Dirección General de Aguas (DGA) a través de la Secretaría Ejecutiva de Medio Ambiente y Territorio (SEMAT) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) encargó el estudio "Enfoque metodológico para evaluar la adaptación al cambio climático en la infraestructura pública del MOP". Mediante este estudio se desarrolló una metodología, para incorporar las proyecciones de cambio climático en los procesos de desarrollo de inversión de infraestructura, incluyendo la planificación, diseño y operación de obras.

Posteriormente, con el aporte financiero de *Environment Canada / Environnement Canada*, el Centro de Cambio Global de la PUC realizó el estudio "Marco estratégico para la adaptación de la infraestructura al cambio climático", con colaboración del Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, CIGIDEN de la PUC y la Universidad de Valparaíso de Chile y como contraparte el MOP con sus distintas reparticiones, incluida la Dirección General de Obras Públicas (DGOP) a través de SEMAT. En este estudio se introdujeron los lineamientos para la incorporación del cambio climático desde el proceso de planificación ministerial. Además se entregó una propuesta metodológica para tres tipos de obra de infraestructura, proyectadas a largo plazo: embalse, puente y puerto. Se destacó en esa propuesta la necesidad de incorporar elementos de modelación más complejos y simulaciones continuas para mejorar la evaluación de la infraestructura y su capacidad de cumplir frente a los criterios de robustez y flexibilidad.

Este informe final es el resultado de la identificación y priorización de medidas de adaptación al cambio climático, partiendo del enfoque expuesto por el Equipo consultor, y discutido con más de diez divisiones/departamentos de seis ministerios en base a las diversas reuniones bilaterales y taller interministerial. El resultado de esas medidas van en la línea de la Coordinación Interministerial, Mejora en el Monitoreo tanto de Amenazas Climáticas como de Vulnerabilidad de Obras construidas, y la Introducción de Cambios Metodológicos específicos.

## Glosario de Instituciones Participantes

CNR: Comisión Nacional de Riego, MINAGRI

DGA: Dirección General de Aguas, MOP

DGOP: Dirección General de Obras Públicas, MOP

DIRECTEMAR: Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante, MDN

DIRPLAN: Dirección de Planeamiento, MOP

DOH: Dirección de Obras Hidráulicas, MOP

DOP: Dirección de Obras Portuarias, MOP

DV: Dirección de Vialidad, MOP

ONEMI: Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública

SEMAT: Secretaría Ejecutiva Medio Ambiente y Territorio, MOP

SHOA: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, MINTERIOR

MDN: Ministerio de Defensa Nacional

MDS: Ministerio de Desarrollo Social

MINAGRI: Ministerio de Agricultura

MINTERIOR: Ministerio del Interior y Seguridad Pública

MMA: Ministerio de Medio Ambiente

MOP: Ministerio de Obras Públicas

# I. Introducción

---

De acuerdo al último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2013), el cambio climático está ocurriendo, y el efecto de la actividad antropogénica sobre este proceso es prácticamente seguro. 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, los servicios de infraestructura cumplen 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, que corresponden a una expresión especial de materializar estos servicios 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.

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 los servicios de infraestructura, y consecuentemente, una amenaza también para todos aquellos sectores o necesidades que dependen o son abordadas por medio de distintos servicios. Por otra parte es posible concebir que la materialización de ciertas oportunidades asociadas al cambio climático requiera del desarrollo de nueva infraestructura cuya necesidad no existe sin este nuevo escenario.

Es por esto que es necesario elaborar una propuesta de Portafolio para el “Plan de Adaptación al Cambio Climático para los Servicios de Infraestructura” en base a la institucionalidad existente, a las funciones del Ministerio de Obras Públicas y otros servicios públicos y a los impactos y oportunidades previamente identificados para el sector. El Centro de Cambio Global UC ha abordado este desafío en el marco de la consultoría “PROPUESTA DE UN PORTAFOLIO DE MEDIDAS PARA ELABORAR EL PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA INFRAESTRUCTURA”.

Los siguientes capítulos de este informe final se estructuran como sigue: en el segundo capítulo se incluyen las bases conceptuales que nos permiten representar los desafíos en materia de adaptación de los servicios de infraestructura al cambio climático; luego en el siguiente se discuten las proyecciones de cambio climático para Chile y las amenazas y oportunidades que se derivan de ellas; en el capítulo 4 se presentan las Líneas Estratégicas de Adaptación y las Medidas de Adaptación concretas. Se entregan finalmente conclusiones de este trabajo. El documento de base se complementa con Anexos donde se muestran los resultados de Reuniones bilaterales, Talleres

intersectoriales desarrollados e información adicional respecto a los ciclos de vida de distintas obras de infraestructura.



## II. Síntesis de la revisión bibliográfica: conceptos

Una de las bases de este trabajo parte de los conceptos generados en el Informe Especial de Cambio Climático y Eventos Extremos (SREX por sus siglas en inglés) y el quinto informe del IPCC (IPCC, 2012; IPCC, 2014). Dentro de los avances que se desarrollan en dichos informes se establecen las relaciones básicas existentes entre la adaptación al cambio climático y la gestión de desastres, una conexión crítica al momento de analizar el rol de los servicios y obras de infraestructura y su relación con la adaptación al cambio climático. La relación conceptual desarrollada en dichos trabajos se presenta en la Figura 1.

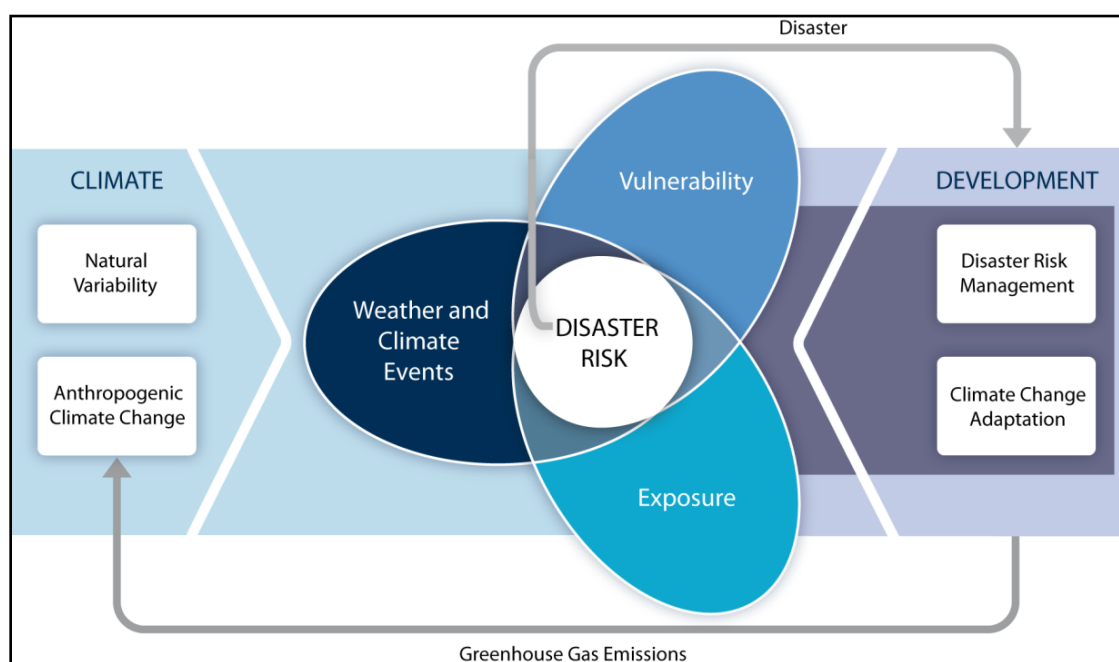
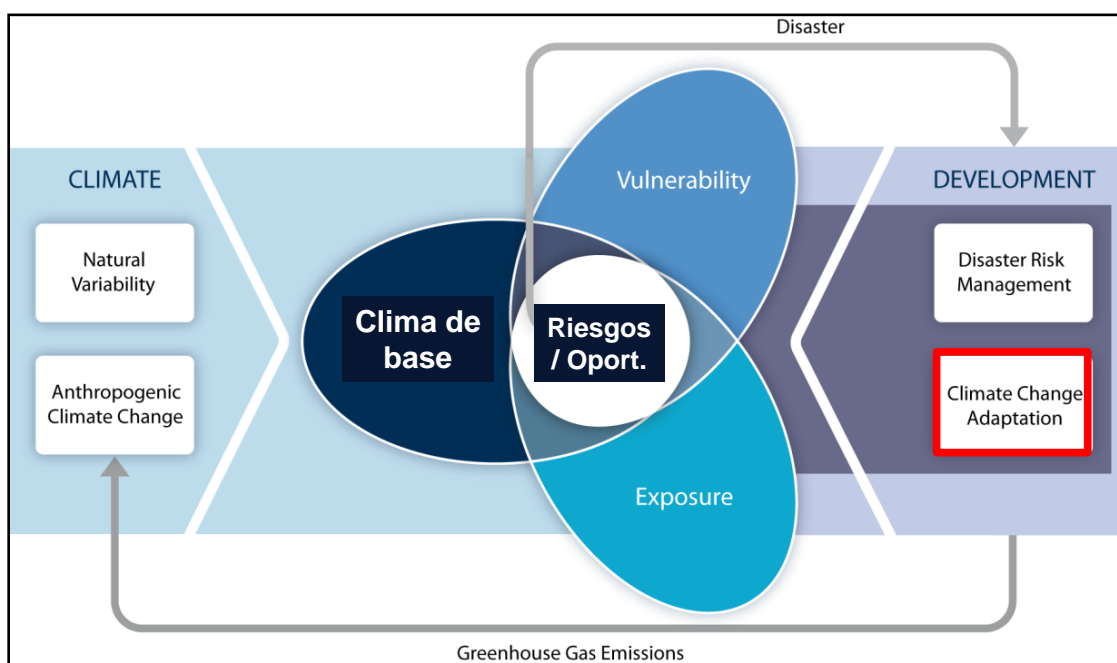


Figura 1. Relaciones entre la adaptación al cambio climático y la gestión de desastres. Fuente, IPCC (2012).

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.

Los servicios y obras de infraestructura tienen 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 exposición<sup>1</sup>. 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

<sup>1</sup>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.

almacenamiento y distribución de recursos hídricos (embalses, sistemas de regadío, sistemas de Agua Potable Rural-APR).

## III. Cambio Climático en Chile: Proyecciones y potenciales amenazas y oportunidades

### A. Generación de escenarios de cambio climático

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 historia y la evolución futura del clima del planeta, 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.

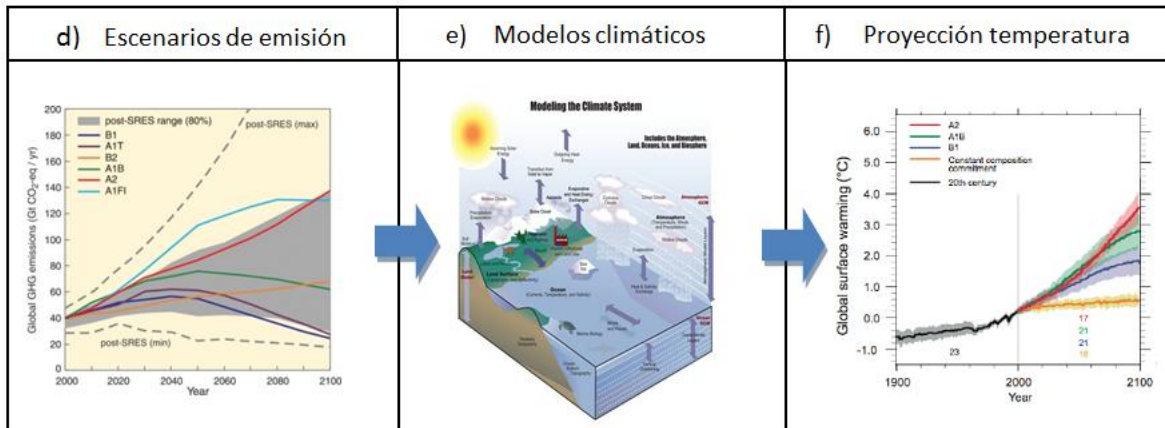
Los modelos se sustentan en su capacidad de simular aspectos importantes del clima actual, para lo cual son evaluados comparando las simulaciones de estos con las observaciones de la atmósfera, el océano, la criósfera y la superficie terrestre. Durante el último decenio han tenido lugar niveles de evaluación 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.

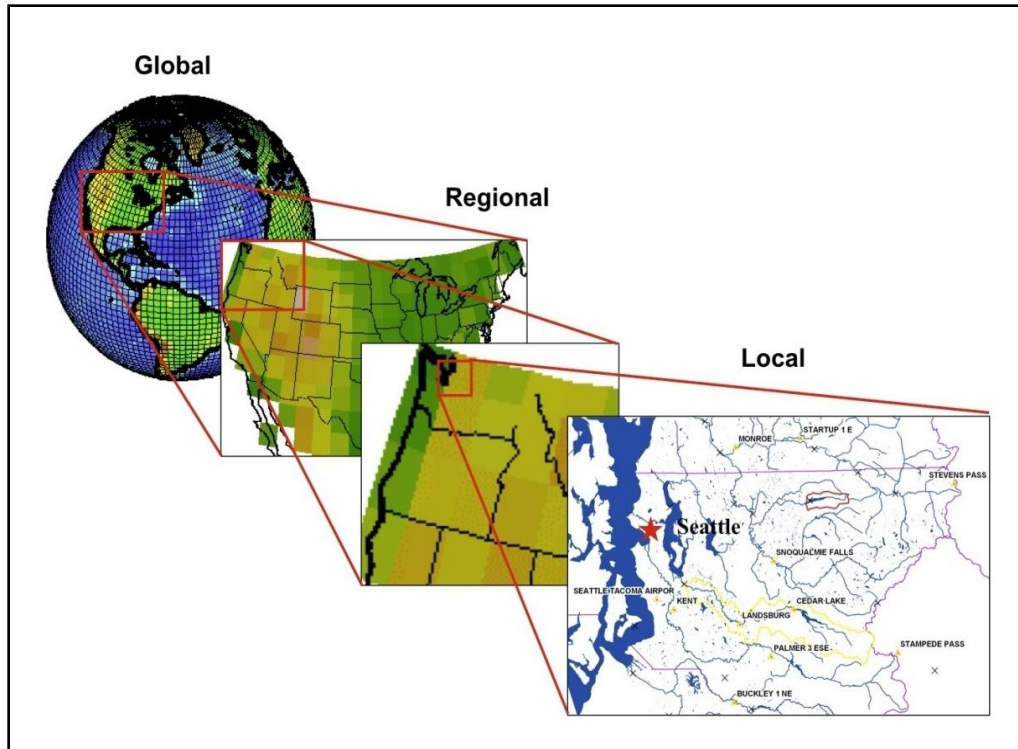
La gama de posibles aplicaciones respecto al uso de los GCMs hoy disponibles es amplia. Algunos ejemplos de aplicación se asocian a: (i) identificar el nivel de efecto de las actividades humanas sobre el cambio climático (atribución), (ii) identificar el nivel de respuesta del sistema climático ante diversos forzamientos (sensibilidad), (iii) evaluar escenarios de emisión de GEI/forzamiento radiativo 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 en grillas del orden de 50 km. 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 50x50 km<sup>2</sup> es insuficiente para capturar diferencias meteorológicas relevantes, por lo que se requiere de evaluaciones de impacto acotadas a escalas menores (Meza, et al 2014).

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.



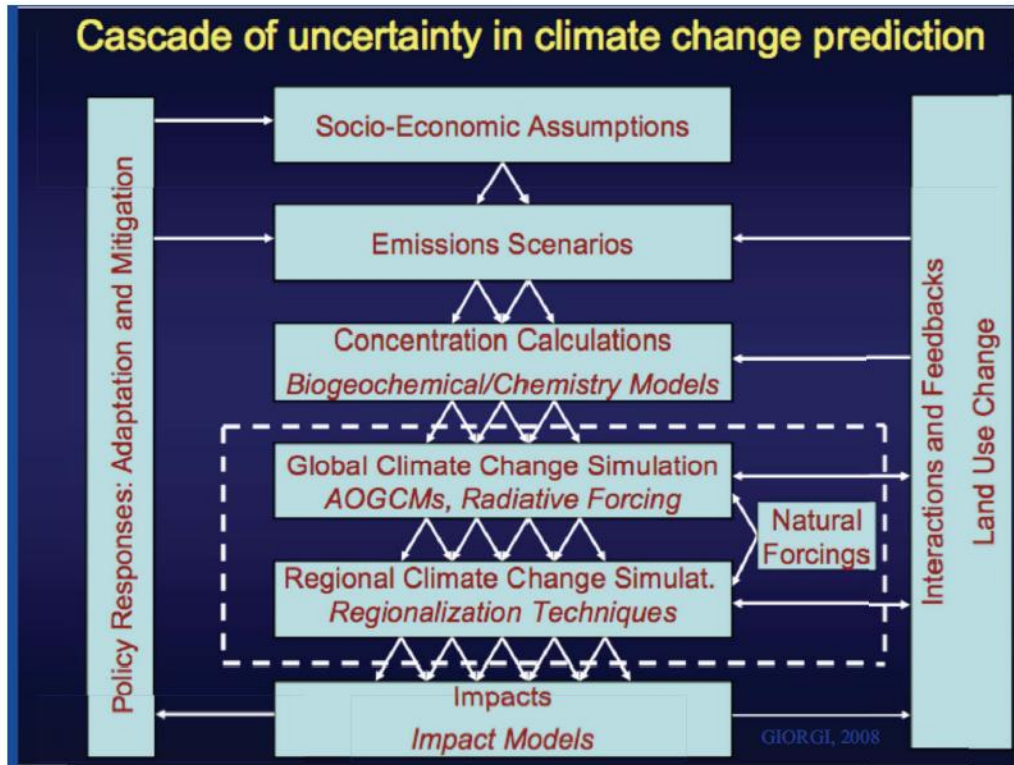
**Figura 4.** Representación conceptual del proceso de downscaling. Fuente: depts.washington.edu (2012).

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. Esta incertidumbre se relaciona con la sensibilidad del modelo a los forzantes naturales, como también a las distintas capacidades 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. Esta 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".

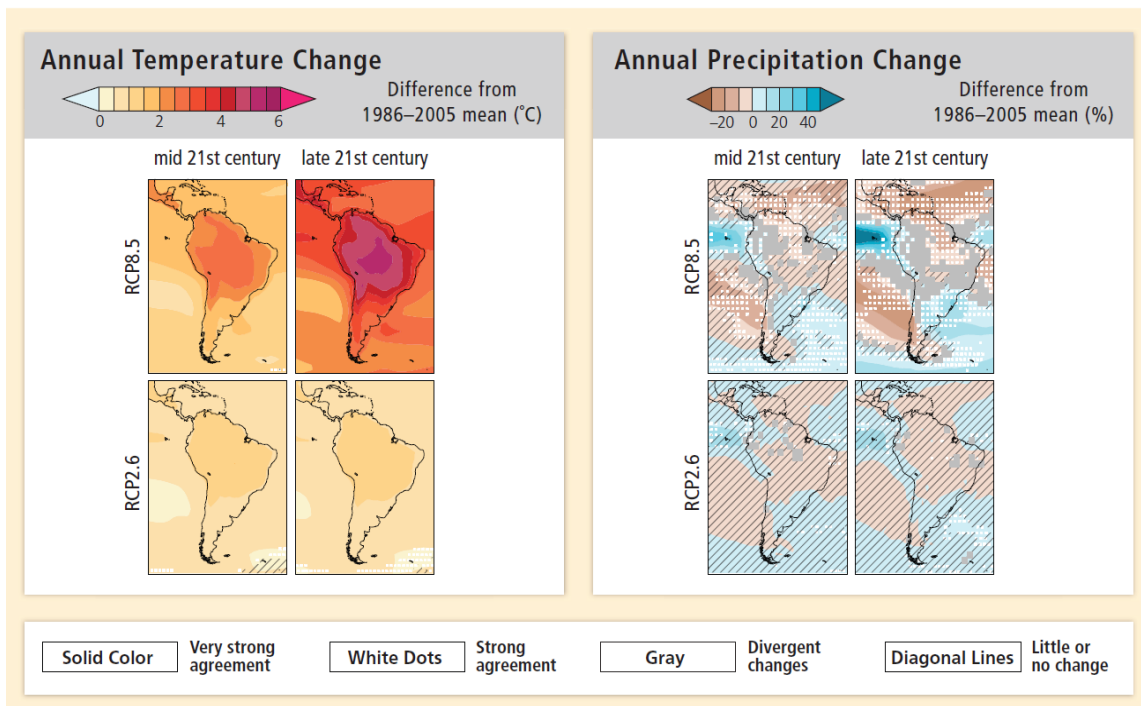
En suma, las proyecciones climáticas requieren del desarrollo y manejo de herramientas complejas, que permiten la obtención de resultados que se basan en probabilidades y no en certezas, por lo que cualquier decisión basada en ellos debe tomarse con cautela y sopesando siempre los potenciales beneficios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



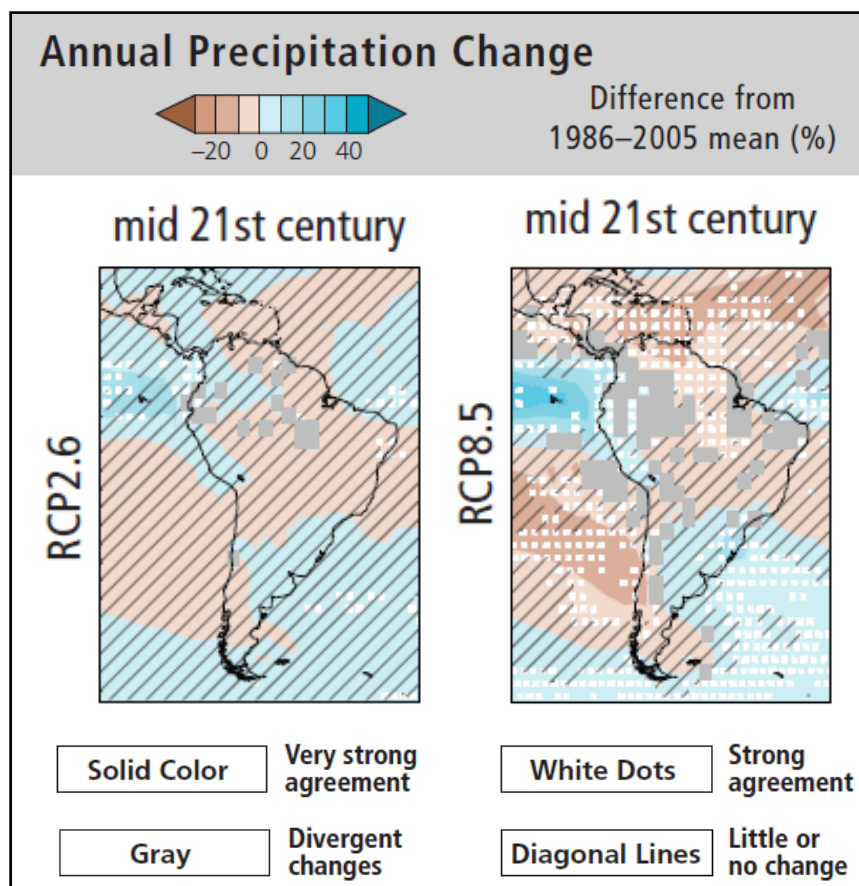
## B. Amenazas y oportunidades del cambio climático a nivel regional y en Chile

En el último informe del IPCC se han entregado nuevas proyecciones de cambio climático tomando en este caso los escenarios de Forzamiento Radiativo Representativo (RCP en sus siglas en inglés) a diferencia de los escenarios SRES considerados en los modelos del IPCC (2007) y utilizados en muchos de los estudios de impacto en Chile desde esa fecha (Ej. CEPAL, 2009). Los escenarios RCP se denotan en función del forzamiento radiativo (en  $W/m^2$ ) que se lograría hacia fines de siglo. A mayor concentración de GEI mayor el forzamiento radiativo. El escenario RCP 2.6 con un forzamiento de  $2.6 W/m^2$  implicaría un aumento en  $2^\circ C$  de la temperatura global del planeta. Un escenario RCP 8.5 se concibe por otra parte como el escenario BAU (*business as usual*) de acuerdo a la trayectoria actual de emisión de GEI.

Las proyecciones en base a estos nuevos modelos y escenarios para Centro y Sudamérica se proporcionan en Magrin et al. (2014). En la Figura 6 se presentan dichos escenarios para el caso del cambio de temperatura promedio anual y precipitación total anual en 4 condiciones diferentes dependientes del escenario RCP (2.6 o 4.5) y el periodo de tiempo analizado (mediados o fines de siglo). En las figuras se presentan no solo el cambio esperado sino que también el nivel de certeza de este cambio en función del análisis que se hace de todos los modelos GCMs considerados. Se puede apreciar que los resultados son coincidentes con respecto a las proyecciones de temperatura y precipitación existentes en IPCC (2007). Para ver los detalles en el caso de las proyecciones de precipitación presentamos en la Figura 7 un zoom de los resultados bajo los escenarios RCP 2.6 y 8.5 para mitad de siglo. Se puede apreciar que para el caso de Chile la señal de cambio es relativamente robusta en relación a otras regiones mostrando una disminución de precipitación del orden de un 20% especialmente en el caso del escenario RCP 8.5

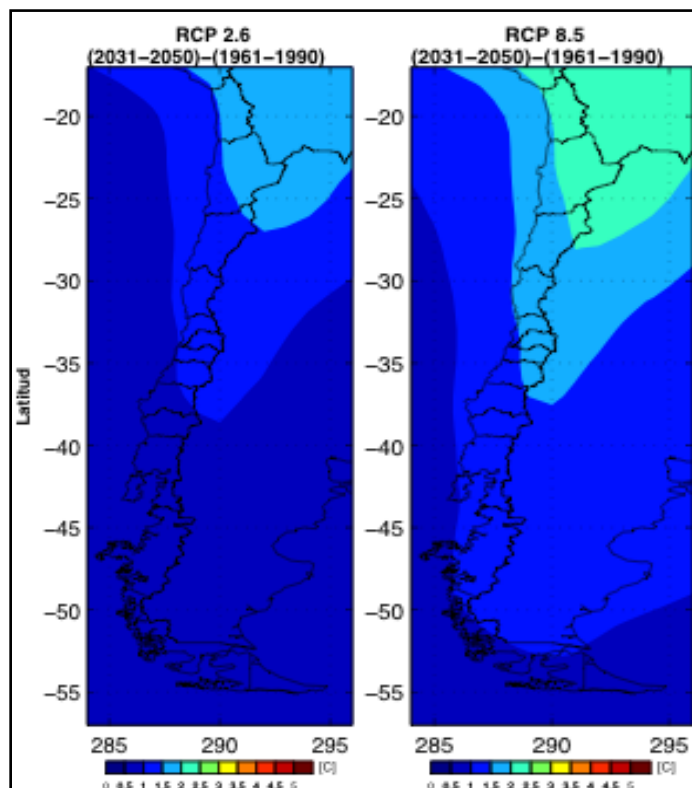


**Figura 6.** Cambios proyectados en temperatura y precipitación anual. Panel de la izquierda (derecha) corresponde al promedio de las proyecciones de temperatura (precipitación) anual de los modelos CMIP5 para los periodos 2046–2065 y 2081–2100 respecto del periodo 1986–2005 bajo los escenarios RCP2.6 y 8.5. Los **colores sólidos** indican áreas donde hay un **muy alto nivel de coincidencia** entre modelos, donde el promedio de los modelos es superior a dos veces la variabilidad de base (variabilidad natural interna en promedios de 20 años) y  $\geq 90\%$  de los modelos coinciden en el signo del cambio. **Colores con puntos blancos** indican áreas con **alto nivel de coincidencia**, donde  $\geq 66\%$  de los modelos muestran un cambio superior a la variabilidad de base y  $\geq 66\%$  de los modelos coinciden en el signo de cambio. Áreas grises indican áreas donde los cambios proyectados son divergentes entre modelos, donde  $\geq 66\%$  de los modelos muestran un cambio superior a la variabilidad de base, pero  $< 66\%$  coinciden en el signo de cambio. **Áreas con colores y con líneas diagonales** indican áreas con poco o nada de cambio, donde  $< 66\%$  de los modelos presentan un cambio superior a la variabilidad de base, sin embargo puede existir cambio significativo a escalas de tiempo más cortas como temporadas, meses o días. Magrin et al (in press)



**Figura 7.** Cambios proyectados en precipitación anual para el periodo 2046–2065 respecto del periodo 1986–2005 bajo los escenarios RCP2.6 y 8.5. La simbología de colores utilizada es la misma que en el caso de la Figura 6 Magrin et al (2014)

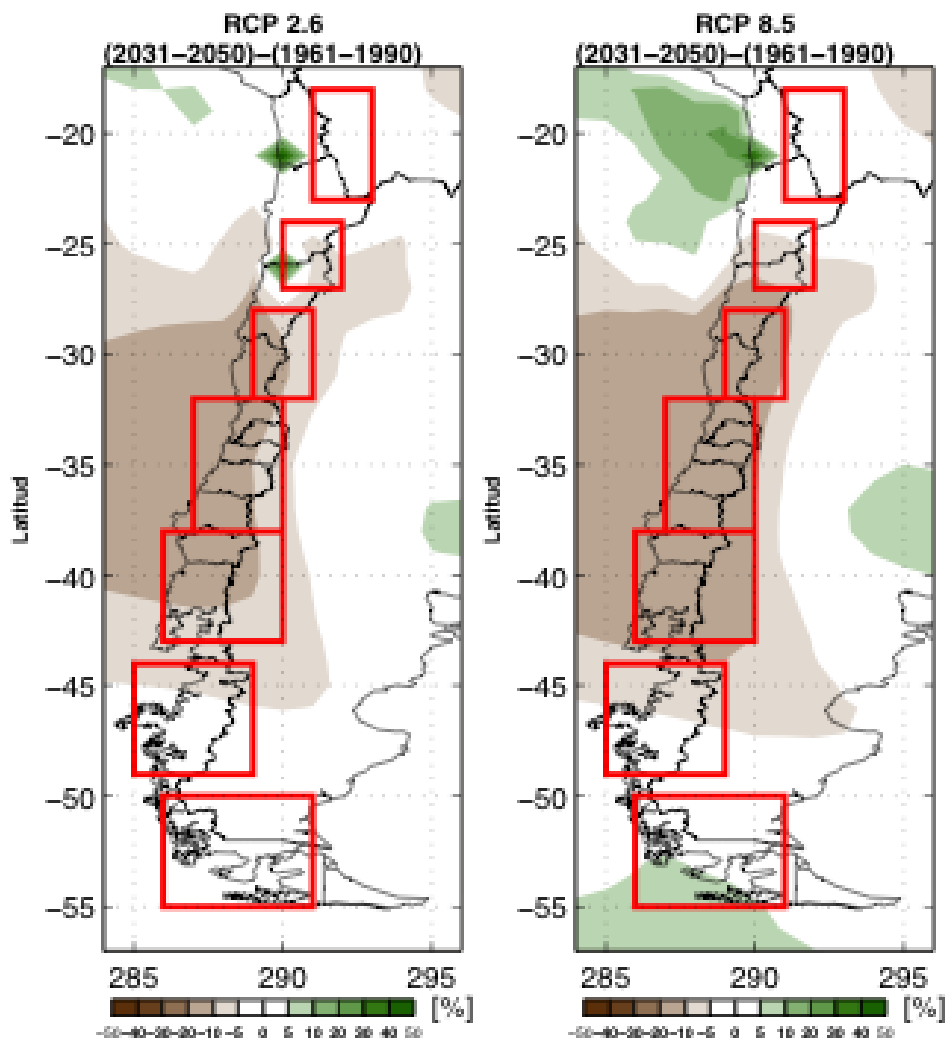
Para evaluar con mayor detalle las nuevas proyecciones de temperatura y precipitación que se han presentado en el último informe del IPCC para el caso de Chile recurrimos a los mapas generados en Rojas (2012) cuyos resultados principales se presentan en las Figura 8, Figura 9 y Figura 10. De acuerdo a estos mapas podemos concluir que dependiendo del escenario forzamiento radiativo se proyectan aumentos de temperatura del orden de 2° C a mediados de siglo, asociándose estos mayores aumentos a la zona central de Chile, y siendo más marcados en la zona del valle central y la zona cordillerana.



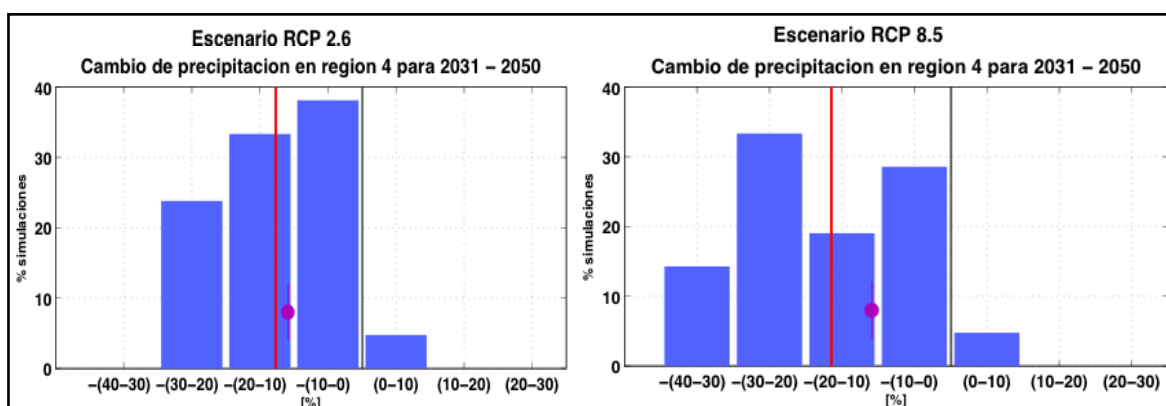
**Figura 8.** Mapas de cambio de temperatura para el periodo 2031-2050, con respecto al periodo 1961-1990. (a) promedio de simulaciones CMIP5-RCP2.6, (b) promedio de simulaciones CMIP5-RCP8.5. Rojas (2012)

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.

Al igual que en el caso de la escala regional las proyecciones asociadas a las precipitaciones presentan por lo general un mayor nivel de incertidumbre. En la Figura 9 se puede observar para mitad de siglo un descenso bastante marcado para la zona localizada entre las regiones de Antofagasta y Los Lagos especialmente en el escenario de mayor forzamiento radiativo, existiendo mayor incertidumbre para las zonas extremas del país. La Figura 10 muestra el detalle de las proyecciones para la zona de análisis 4 correspondiente a Chile Central (32-38°S). Se puede apreciar que tanto para el caso del escenario RCP 2.6 y 8.5 solamente el 5% de los modelos indica un aumento de precipitaciones. El promedio de las proyecciones indica una reducción del orden de 10% (20%) en el caso del escenario RCP 2.6 (RCP 8.5).



**Figura 9.** Mapas de cambio porcentual de precipitación para el periodo 2031-2050 con respecto al periodo 1961-1990. (a) Promedio de las simulaciones CMIP5-RCP2.6, (b) promedio de las simulaciones CMIP5-RCP8.5



**Figura 10.** Distribuciones de porcentaje de modelos con un cierto cambio porcentual de precipitación para la región 4 para el periodo 2031-2050 y los escenarios RCP2.6 (panel izquierdo) y RCP8.5 (panel derecho). La línea roja indica el promedio de todas las simulaciones, y el punto café el promedio del modelo PRECIS-ECHAM.

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 los servicios de infraestructura en Chile. Las principales amenazas que se desprenden de estos cambios son:

- 1. Cambios en el patrón de precipitaciones y aumento en tasas de precipitaciones**
- 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. Cambio en patrón de precipitaciones y aumento en intensidad y frecuencia de sequías**

En general, las sequías son un fenómeno recurrente en términos temporales y que normalmente muestra una extensión espacial considerable. Si bien ellas dependen de condiciones climáticas e hidrológicas, en un número importante de casos su ocurrencia y severidad están asociadas a temas institucionales y de manejo que hacen que la oferta sea incapaz de satisfacer la demanda. Es por ello que normalmente se distinguen varios tipos de sequías, en atención a las causas que las originan y, potencialmente, a las consecuencias que pueden traer.

Las sequías meteorológicas corresponden a un período prolongado de ausencia de precipitaciones o de una marcada deficiencia en ellas. Si bien, los términos cualitativos son ambiguos (prolongado y marcada deficiencia), ellos enfatizan la necesidad de referir a una sequía meteorológica dentro del marco referencial del régimen climático de una determinada localidad.

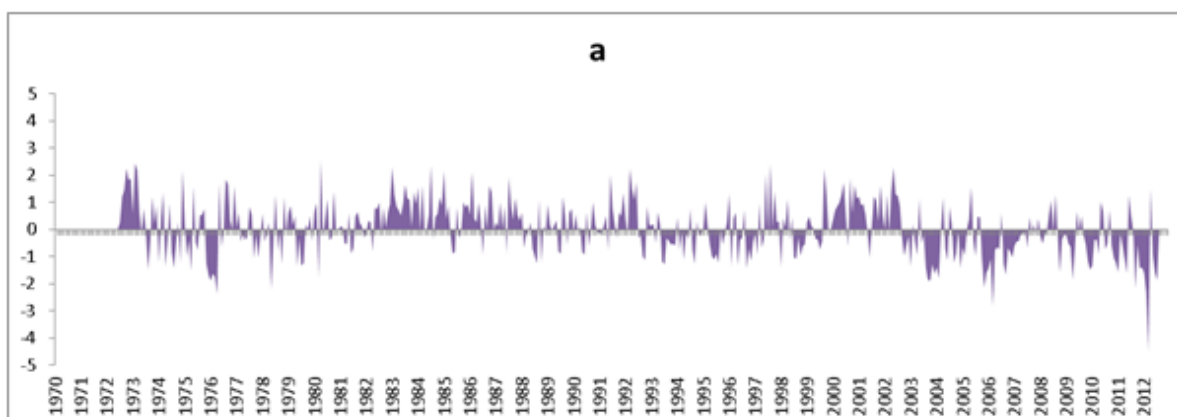
La sequía hidrológica se define en forma análoga (Kayentash y Dracup, 2002) y se refiere a un período en que los volúmenes de cursos de agua, embalses, acuíferos y/o lagos se encuentran por debajo de valores normales. El vínculo con las condiciones climáticas es evidente, no obstante malas prácticas de manejo tales como deforestación, sobreexplotación de acuíferos, inadecuada distribución de recursos de agua almacenados, entre otros pueden desencadenar o exacerbar una sequía hidrológica.

Las sequías de carácter agrícola se alcanzan en aquellas oportunidades en que la humedad de suelo es incapaz de satisfacer la demanda de agua de los cultivos. Por ello es que se espera sufrir un daño en términos de su productividad o eventualmente la falla total del cultivo. Es interesante puntualizar que la cantidad de agua en el suelo depende de la oferta de agua de las precipitaciones (vínculo con sequía meteorológica) y de la capacidad que tenga el sistema agronómico de suplir agua en forma de riego (vínculo a la sequía hidrológica).

Finalmente la sequía socioeconómica corresponde a un desbalance entre oferta de agua y demanda para todos sus usos (industrial, minero, agrícola, doméstico, recreacional, mantención

de ecosistemas, etc.). Ciertamente que está vinculada a los fenómenos anteriores, pero en este caso los temas institucionales y de manejo son, en muchos casos, un elemento que puede igualar a la variabilidad hidroclimática.

De lo anterior se desprende que es necesario entender a las sequías como desastres naturales recurrentes y que se insertan en las condiciones climáticas, hidrológicas e institucionales y sociales de sus respectivas regiones. Por ejemplo, una de las zonas que más atención ha recibido en los últimos años por su carácter semi árido y por la presencia de un período anormal de bajas precipitaciones corresponde a la región de Coquimbo. Nuñez y colaboradores (2011) señalan la necesidad de contar con estimadores confiables de los períodos de retorno de eventos de esta naturaleza. Esta información es de particular importancia para la planificación de recursos hídricos y para el dimensionamiento de infraestructura. Meza (2013) utiliza un índice estandarizado de precipitaciones y evapotranspiración para mostrar que en esta región se observa una tendencia reciente al aumento de períodos de sequía y que ellos también tienen una asociación directa con el fenómeno del Niño. (VerFigura 11)



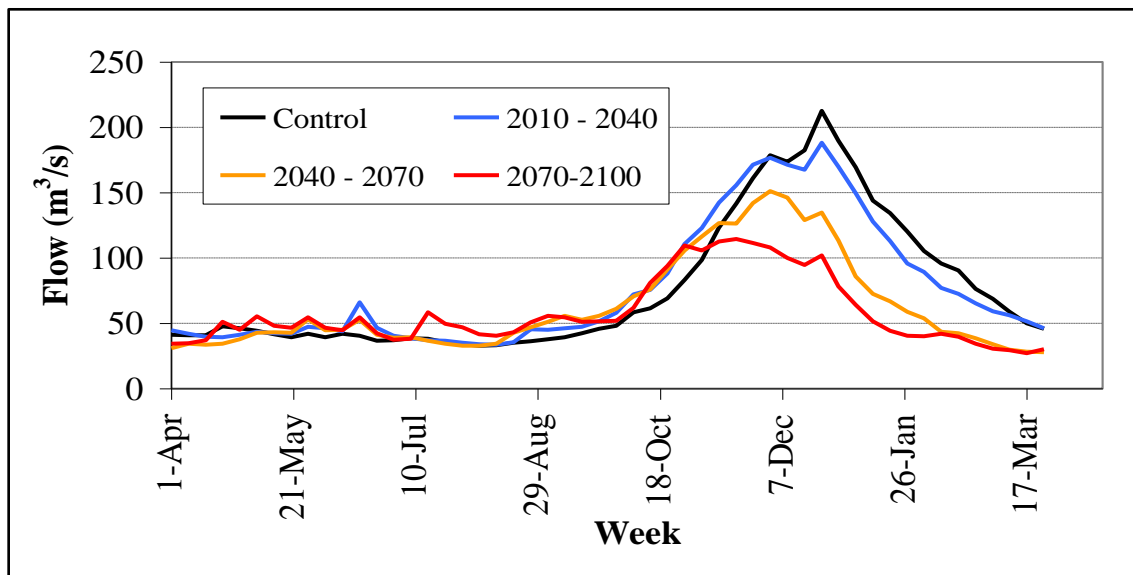
**Figura 11.** Variabilidad del índice de precipitación-evapotranspiración estandarizado en la cuenca del río Elqui. (Adaptado de Meza, 2013)

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 Vicuña et al. (2011 y 2012).

El caso de la cuenca del Maipo ha sido también estudiado. Meza y colaboradores (2012) usan un modelo estadístico simple de estimación de caudales a consecuencia del cambio climático para demostrar que la confiabilidad de los derechos de aprovechamiento de la cuenca del Maipo se vería severamente afectada. Posteriormente Meza y colaboradores (2014) modelaron 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 12). Los autores concluyen además que la capacidad de cubrir la demanda del sector agrícola se verá más afectada que el caso urbano y que probablemente la respuesta de adaptación implique un aumento en la presión sobre recursos hídricos subterráneos.



**Figura 12.** Maipo en San Alfonso. Caudal promedio anual para periodo control y 3 periodos futuros. Fuente: Meza et al, 2014

El caso del río Maule es también analizado a través del proyecto FONDEF n° D10I1051. En este caso se ha modelado la respuesta de los caudales en la primera sección frente al cambio climático y se observa que la capacidad de satisfacer la demanda agrícola y la capacidad de generación se verán seriamente afectadas en el futuro.

En el caso del río Mataquito, Vicuña y colaboradores (2013) identificaron algunos cambios recientes en la hidrología a nivel estacional que mostraban reducciones importantes en los caudales mínimos en el período estival. Si estas tendencias se conjugan con los cambios esperados para la región en el futuro (aumento de temperatura, reducción de precipitaciones y reducción de acumulación de nieve) se prevé que la actividad económica de la región que depende de la provisión de agua se vea seriamente afectada.



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 cambio de uso de suelo, el rompimiento de una presa o la descarga rápida a través de un vertedero de seguridad.

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. Por último, el uso de suelo o, en general, su tipo y/o las condiciones de éste al inicio de un evento de precipitación pueden acentuar significativamente la magnitud y efectos de una crecida. A continuación nos referimos en más detalles al efecto de la temperatura y precipitación en las crecidas y sus características.

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 estos eventos (Marín et al, 2012).

El caso más tradicional de crecida generalmente sí está vinculado a la ocurrencia de un evento de precipitación significativo. 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 que en su totalidad, o al menos parcialmente, tiene altas intensidades; (2) una tormenta de duración significativa, donde se logra condiciones en la cuenca de alta saturación y bajo almacenamiento que aumentan las tasas de escorrentía, 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 existente, 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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/s. Esto significaría un caudal cuyo periodo de retorno con toda seguridad superó los 200 años. La Tabla 1 (Vicuña et al, 2013) 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. (2013) 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., 2013)

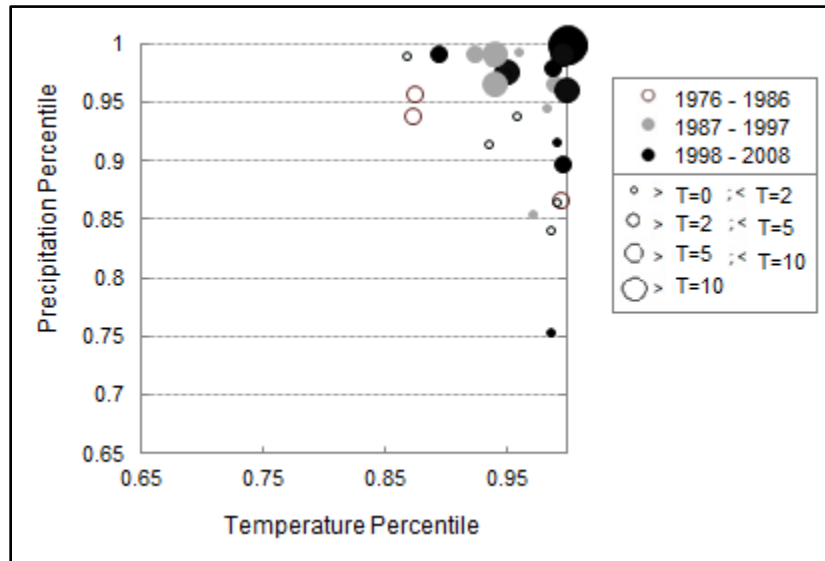
	<b>27 mayo 2002</b>	<b>23 mayo 2008</b>
Precipitación últimas 48 horas (mm)	103,6	83,9
Caudal máximo diario (m <sup>3</sup> /s)	931	2690
$T_{max}$ media (°C)	13,0	17,4
Elevación estimada de la línea de nieve (m)	1700	2200

Vicuña et al. (2013) evaluaron en detalle los caudales máximos diarios en distintas estaciones del sistema Mataquito, así como los registros de precipitación y temperatura (Tabla 2). A partir de este análisis identificaron máximas crecidas tanto de la serie de máximos caudales anuales, como de series de duración parcial (i.e. las máximas crecidas sin importar si 2 o más de éstas ocurrían el

mismo año). Esto lo realizaron tanto a nivel anual como a nivel estacional, lo que significó identificar separadamente las crecidas que ocurren sólo en la época de lluvias y de derretimiento. El análisis mostró que la mayoría de las máximas 10 crecidas ocurrieron en el periodo 2000 – 2009, y determinó que la precipitación y la temperatura mínima diaria durante el día del evento y las previas 48 horas eran las variables que explicaban de mejor manera la ocurrencia de crecidas. En particular, las crecidas más significativas están asociadas a precipitaciones de gran magnitud y en condiciones donde la temperatura mínima fuera alta. La Figura 13 ilustra este comportamiento para la estación “Río Colorado en junta con Palos”, donde se indican, en la forma de percentiles según las condiciones del mes, la precipitación y temperatura mínima detonantes de las máximas crecidas anuales. Ocho de los 10 mayores crecidas están asociadas a condiciones extremas concurrentes de estas dos variables precipitación significativos (i.e. precipitaciones y temperaturas mínimas mayores al percentil 90 para el mes en cuestión), mientras que, en promedio para todas las estaciones, sólo 2 o 3 de las 33 máximas crecidas anuales no están relacionadas con eventos de precipitación y/o temperatura mínima significativos.

**Tabla 2.** Estaciones de temperatura, precipitación y caudales utilizadas por Vicuña et al. (2013) en evaluación de eventos de crecida (fuente: Vicuña et al., 2013)

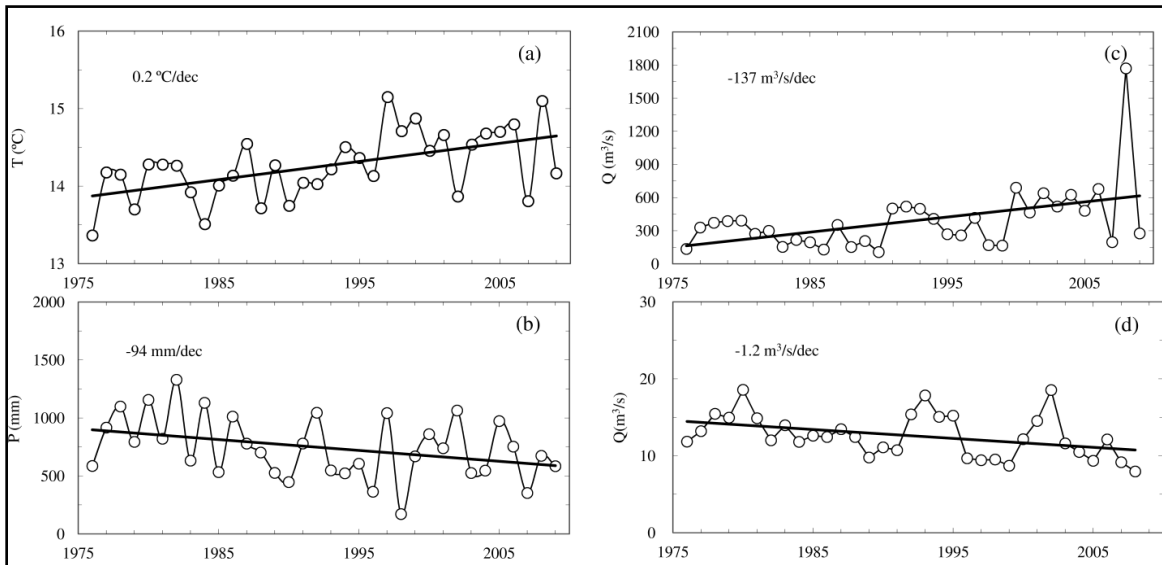
Station	Latitude (decimal degrees)	Longitude (decimal degrees)	Elevation (m)	Years of record	Number of years	$T_{\text{mean}}$ (°C)	$T_{\text{max}}$ (°C)	$T_{\text{min}}$ (°C)	$P$ (mm)	$Q$ (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )
Curicó (CU)	-35	-71.25	195	1976-2010	34	✓	✓	✓	✓	-
Potrero Grande (PG)	-35.18	-71.1	445	1976-2009	33	✓	✓	✓	-	-
Potrero Grande (PG)	-35.18	-71.1	445	1978-2009	31	-	-	-	✓	-
Colorado (CO)	-35.63	-71.27	420	1981-2009	28	✓	✓	✓	-	-
Talca (TA)	-35.41	-71.63	110	1982-2009	27	✓	✓	✓	-	-
Río Teno (RT)	-35	-70.81	680	1976-2009	33	-	-	-	✓	-
El Manzano (EM)	-34.96	-70.92	574	1977-2009	32	-	-	-	✓	-
Lontué (LO)	-35.04	-71.29	195	1977-2010	32	-	-	-	✓	-
Santa Susana (SS)	-34.91	-71.04	410	1985-2009	24	-	-	-	✓	-
Estero Upeo en Upeo (UP)	-35.18	-71.1	450	1976-2009	33	-	-	-	-	✓
Río Colorado en junta con Palos (CP)	-35.28	-71	600	1976-2009	33	-	-	-	-	✓
Río Palos en junta con Colorado (PC)	-35.28	-71.02	600	1976-2009	33	-	-	-	-	✓
Río Teno después de junta con Claro (RTC)	-35	-70.82	647	1976-2009	33	-	-	-	-	✓
Río Mataquito en Licantén (LI)	-35	-70.81	20	1987-2009	22	-	-	-	-	✓



**Figura 13.** Ejemplos de tendencias hidroclimáticas. a) Temperatura media anual, estación de Curicó, b) Precipitación anual, estación Curicó, c) Caudal máximo instantáneo, estación Colorado en junta con Palos, y d) Caudal promedio de los 7 días más secos, estación Palos Colorado. Fuente: Vicuña et al. (2013).

Los resultados de Vicuña et al. (2013) para la cuenca del Mataquito se resumen de la siguiente manera, apoyándose en la Figura 14, la cual ejemplifica estas tendencias. Estos resultados se consideran representativos de las cuencas en climas mediterráneos y semiáridos de Chile central (Demaría et al., 2013).

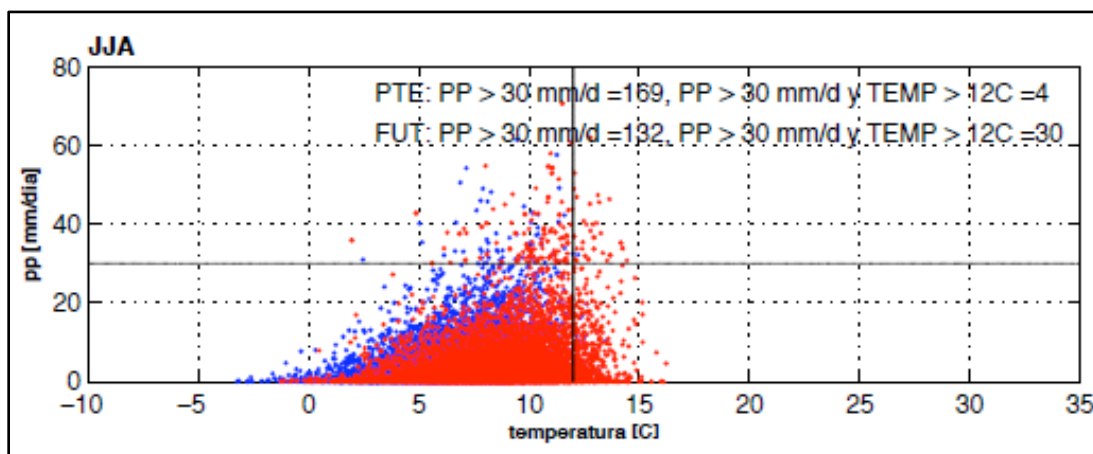
- Las temperaturas han aumentado significativamente. Esta señal se observa especialmente durante la primavera para la temperatura media. La Figura 14a ejemplifica el comportamiento de ésta variable en la estación de Curicó.
- La magnitud y frecuencia de precipitaciones en la época de primavera ha disminuido, lo que en algunos casos ha significado una reducción significativa de la precipitación anual, como se ejemplifica en la Figura 14b para la estación de Curicó.
- Existen cambios en la temporalidad de caudales y una ocurrencia de eventos extremos más frecuentes. Estos eventos extremos se asocian a altos valores de precipitaciones y temperaturas mínimas anormalmente altas. En el caso de la estación de Colorado en Junta con Palos, esto ha generado un aumento significativo en los caudales máximos instantáneos (Figura 14c).
- Disminuye la acumulación de nieve (particularmente en otoño), lo que repercutiría en la temporalidad y magnitud de los caudales de derretimiento, particularmente en verano. Esto ha significado una reducción en los caudales mínimos, como lo ilustra la Figura 14d



**Figura 14.** Ejemplos de tendencias hidroclimáticas. a) Temperatura media anual, estación de Curicó, b) Precipitación anual, estación Curicó, c) Caudal máximo instantáneo, estación Colorado en junta con Palos, y d) Caudal promedio de los 7 días más secos, estación Palos Colorado. Fuente: Vicuña et al. (2013).

Los resultados anteriormente descritos se condicen con los obtenidos por Demaría et al. (2013), quienes proyectan a futuro en la cuenca eventos extremos de precipitación y escorrentía más frecuentes, así como condiciones de flujos bajos más críticas durante los meses cálidos. Este aumento en la escorrentía se traduce en caudales mayores asociados a distintos periodos de retorno, siendo creciente, a mayores periodos de retorno, la diferencia entre los caudales estimados y aquellos identificados de análisis de frecuencias históricos. El mismo estudio pronostica la subida de la elevación de línea de nieves desde el valor histórico de 2000 m hasta aproximadamente 2700 m a fines del siglo 21.

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 15 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 15.** 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)

Otros estudios recientes que han identificado las condiciones meteorológicas que gatillan eventos de crecidas (Viale y Nuñez, 2010; Garreaud, 2013) corroboran los resultados de Vicuña et al. (2013) y lo pronosticado por CEPAL. Estos estudios muestran que los eventos más fuertes registrados en la zona central de Chile están asociados con lluvias cálidas de larga duración caracterizadas por la presencia de corrientes atmosféricas que inciden en los Andes subtropicales. En estos eventos cálidos la temperatura del aire y presión superficial cambian poco antes y durante la tormenta, y la precipitación está uniformemente distribuida durante el evento (Garreaud, 2013). En el caso de Chile Central, Garreaud (2013) establece que las tormentas cálidas de gran magnitud se caracterizan por tener temperaturas por encima de los 10.5°C en la zona del valle, lo que a su vez genera isotermas elevadas con incrementos en el área aportante y subsecuente respuesta hidrológica.

Finalmente otros estudios en curso (Castro y Gironás, 2014) se basan en lo expuesto por Garreau y proponen la modelación y posible estimación de crecidas y sus periodos de retorno a partir de modelos de regresión utilizando información de precipitación y temperatura de los últimos días. Este estudio busca desarrollar sistemas de alerta temprana de emergencias para crecidas.

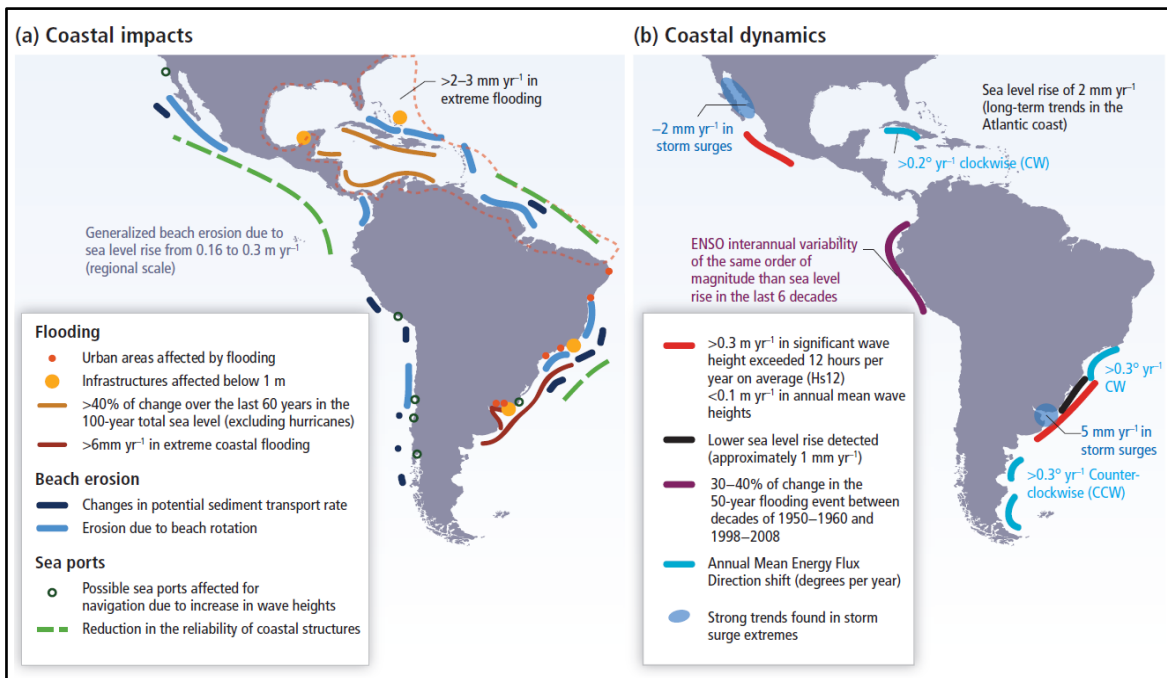
Los resultados presentados en este breve análisis muestran la relevancia de la información hidrometeorológica para caracterizar de manera correcta la evolución temporal y espacial de las variables que detonan eventos de crecidas significativos. Adicionalmente resulta evidente la necesidad de considerar el régimen de temperaturas en la modelación hidrológica de la escorrentía superficial. Es una combinación de las condiciones de precipitación y temperatura las que explicarían las grandes crecidas en un contexto no estacionario como el que se comienza a ver en ciertas zonas del país, y que se haría más patente en el futuro a mediano plazo.

### 3. Impactos costeros

De la revisión de nuevos antecedentes acerca de las posibles implicancias que el Cambio Climático pudiera tener en las costas de Chile, destacan los artículos publicados por Losada et al. (2013) y Izaguirre et al., (2013) que resumen el estudio previamente publicado por Cepal (2011). En él se

analizan los distintos factores que explican las variaciones observadas y proyectadas en el nivel del mar de las costas de América Latina y el Caribe. Se concluye que los factores no son generalizables y responden a particularidades asociadas a condiciones batimétricas y climáticas, además de las oscilaciones asociadas al fenómeno del Niño. En las costas del Pacífico, especialmente desde Perú al sur, existe una correlación importante entre la activación del fenómeno del Niño y las variaciones del nivel del mar, principalmente asociado a tormentas y marejadas.

Se confirman las tendencias globales de aumento del nivel del mar especialmente asociadas a mareas meteorológicas en el caso de la costa del Pacífico. Por otro lado, el reporte actualizado del IPCC (2013) entrega alguna información adicional respecto a potenciales impactos y cambios en las dinámicas litorales sobre las costas de América Latina y el Caribe. Se identifica la posibilidad de cambios en los climas de oleaje, tanto en aumentos de altura significantes como en su dirección, que podrían producir problemas a nivel de operación de infraestructura y erosión de sistemas costeros.



**Figura 16.** Impactos costeros actuales y previstos (a) y la dinámica costera (b) en respuesta al cambio climático. (a) impactos costeros: En base a las tendencias observadas y las proyecciones, la figura muestra cómo los impactos potenciales pueden afectar la región (CEPAL, 2011a). Inundaciones: Dado que la probabilidad de las inundaciones aumenta con el aumento del nivel del mar, se puede esperar una mayor probabilidad de inundaciones en lugares que muestran > 40% de cambio del nivel del mar en los últimos 60 años, en un periodo total de 100 años (con exclusión de los huracanes). La figura también identifica las áreas urbanas en en donde se ha observado el mayor aumento en el nivel de la inundación. Erosión de las playas: Aumenta con el transporte potencial de sedimentos, y por lo tanto lugares donde los cambios en el transporte potencial de sedimentos han aumentado en un determinado umbral tienen una mayor probabilidad de ser erosionados. Puertos marítimos y fiabilidad de las estructuras costeras: muestra los lugares donde, en el caso de contar con una estructura de protección en su lugar, hay una reducción en la fiabilidad de las estructuras debido al aumento en las estimaciones de altura ola de diseño. (b) Dinámica litoral: Información basada en series históricas que se han obtenido mediante una combinación de re-análisis de datos, la información instrumentales disponibles, e información por satélite. Técnicas estadísticas avanzadas se han utilizado para la obtención de tendencias incluyendo las incertidumbres (Izaguirre et al, 2013; Losada et al, 2013).

En relación a las variaciones del clima de oleaje a nivel local, no se han encontrado nuevos estudios que entreguen información actualizada respecto de sus tendencias por lo que el estudio CEPAL (2011) y aquellas referencias utilizadas en el trabajo previo "Marco estratégico para la adaptación de la infraestructura al cambio climático" sigue siendo la referencia más importante. Sin embargo, para esta revisión, hemos también hemos considerado alguna información reciente que nos ha proporcionado la Dirección de Obras Portuarias (DOP) del Ministerio de Obras Públicas en relación a solicitudes o problemas de funcionamiento de infraestructura costera.

En particular la DOP ha detectado diversos problemas en algunas obras de construcción reciente que aparentemente han sido sometidas a solicitudes que pudieran haber sido sub-estimadas. Uno de los ejemplos mencionados tiene relación con la Playa Artificial El Laucho, ubicada en la Región de Arica y Parinacota. La DOP intervino esta playa incorporando elementos de protección contra el oleaje con el fin de disminuir su exposición al ataque continuo de las olas y mejorar su



estabilidad, seguridad y niveles de servicio. Para ello se construyeron dos molos de abrigo y se procedió a hacer una recarga de arena el año 2010. El diseño de las obras contempló la utilización del instructivo SHOA 3201 (SHOA PUB. 3201) para mediciones y análisis oceanográficos y la base de datos de OLAS CHILE III <sup>2</sup> (<http://www.olasdelpacifico.com/>) que considera 21 años de reanálisis de climas de olas entre 1985 y 2006. El oleaje de tormenta fue definido de acuerdo a las metodologías aprobadas por dicho instructivo en donde sólo se consideró el oleaje reinante de dirección SW que incide el 95% del tiempo. No se consideraron tormentas incidentes desde la dirección W ni NW debido a la baja recurrencia observada en la base de datos considerada asumiendo también que existían condiciones naturales asociadas a la presencia de roqueríos que obstaculizarían el paso de climas de oleaje con estos ángulos de incidencia. Luego de 3 años de operación de la playa, en enero de 2013, la DOP reportó problemas de socavación en el perfil de playa ubicado en la zona sur que disminuían la servicialidad de la playa exponiendo además a las personas que transitan por ese sector. Los análisis de las tormentas que provocaron este problema mostraron que el clima de oleaje que provocó las socavaciones tuvo dirección W y periodos mayores a los registrados en la base de datos de reanálisis utilizado para el diseño. Esta situación ejemplifica la dificultad real que experimenta el diseño de obras marítimas en al menos tres elementos fundamentales:

- No contar con una buena cobertura espacio-temporal de registros de climas de oleaje a lo largo de la costa de Chile que permita ir complementando la información utilizada para el cálculo de oleajes extremos así como incorporar nuevas tormentas no necesariamente capturadas en los reanálisis numéricos de oleaje.
- Las bases de datos disponibles para la determinación de tormentas de diseño parecen no incluir algunos eventos extremos que han sido observados en años recientes por lo que haría falta realizar un esfuerzo por extenderlos y avanzar hacia la evaluación de posibles escenarios futuros que tomen en cuenta tendencias y cambios potenciales que podrían incidir en la operación de las obras.
- Se hace necesario revisar las metodologías e instructivos actualmente utilizados para la definición de tormentas de diseño pues la evidencia muestra que en los últimos años han existido diversas obras recientes que han presentado problemas al ser solicitadas por climas de oleaje “anómalos” que no pudieron ser correctamente anticipados.

---

<sup>2</sup> Proyecto Olas Chile corresponde a una base de datos de oleaje desarrollada por Baird&Associates S.A., la cual corresponde al estándar institucional en Chile en lo que respecta a la definición de climas de oleaje.



**Figura 17.** Playa El Laucho antes de las obras de protección. Fuente: Registro de Obras, Dirección de Obras Portuarias, MOP



**Figura 18.** Playa El Laucho antes de las obras de protección. Fuente: Registro de Obras, Dirección de Obras Portuarias, MOP.



**Figura 19.** Vista en planta, playa El Lucho posterior al proceso de socavación. Fuente: Registro de Obras, Dirección de Obras Portuarias, MOP

Del mismo modo, situaciones como la ejemplificada en el caso de la Playa el Laucho se han observado en otras obras, donde algunas de ellas han generado controversias importantes a nivel técnico entre mandantes y contratistas, así como preocupación a nivel político. Estos problemas muestran la necesidad de hacer una revisión en línea con los elementos planteados en los puntos anteriores.

## IV. Servicios de infraestructura y adaptación al cambio climático

### A. Introducción: estrategia de inclusión de la adaptación al cambio climático en los servicios de infraestructura

La relación conceptual del cambio climático con los servicios de infraestructura se presentó en una sección anterior de este documento. Para avanzar en la implementación práctica de este modelo conceptual en líneas estratégicas y medidas de adaptación concretas, es importante tomar en cuenta las misiones y responsabilidades de los distintos servicios públicos que finalmente implementarían dichas medidas. En este sentido se reconoce de manera clara la preponderancia que el Ministerio de Obras Públicas tendría en la implementación de gran parte de estas medidas.

En la página web del MOP<sup>3</sup> se establece que su **misión** es:

*Recuperar, fortalecer y avanzar en la provisión y gestión de obras y servicios de infraestructura para la conectividad, la protección del territorio y las personas, la edificación pública y el aprovechamiento óptimo de los recursos hídricos; asegurando la provisión y cuidado de los recursos hídricos y del medio ambiente, para contribuir en el desarrollo económico, social y cultural, promoviendo la equidad, calidad de vida e igualdad de oportunidades de las personas.*

Y los **ejes estratégicos** a través de los cuales se baja esta misión son los siguientes:

- *Impulsar el desarrollo económico del país a través de la infraestructura con visión territorial integradora.*
- *Impulsar el desarrollo social y cultural a través de la infraestructura, mejorando la calidad de vida de las personas.*
- *Contribuir a la gestión sustentable del medioambiente, del recurso hídrico y de los ecosistemas.*
- *Alcanzar el nivel de eficiencia definido en el uso de los recursos.*

Tomando en cuenta el modelo conceptual presentado con anterioridad, queda de manifiesto que la misión del MOP se ve condicionada hoy por las condiciones climáticas existentes (caracterizados por los promedios y su variabilidad) y que podría verse afectada en el futuro producto del cambio climático. Los servicios de infraestructura de conectividad y protección por ejemplo necesitan tomar en cuenta los riesgos asociados a eventos hidrológicos extremos que pueden disminuir (o incluso eliminar) la provisión del servicio dado. La provisión de recursos hídricos también requiere entender tanto la oferta como las necesidades de estos recursos, que en ambos casos tienen un alto grado de influencia por parte de las condiciones climáticas imperantes en las distintas cuencas del país. En algunos casos estas necesidades pueden ya estar presentes en el territorio pero también pueden estar latentes en cuyo caso el servicio de infraestructura sirve para lograr su materialización.

<sup>3</sup><http://www.mop.cl/acercadelmop/Paginas/ValoresMisionyVision.aspx>

Está claro también que si en el futuro existen cambios en las condiciones climáticas, puede afectarse la manera en que el Estado asegura el éxito de su misión vía las acciones que ejecuta el MOP. Desde la misma perspectiva que en el caso actual, algunos de estos cambios pueden implicar desafíos para asegurar que el servicio de infraestructura ya reconocido se lleve a cabo de la manera adecuada, o también pueden generar necesidad de servicios de infraestructura totalmente nuevos.

Bajo esta premisa y siguiendo los ejes estratégicos del MOP, se ampara en términos gruesos la primera bajada concreta respecto a las medidas de adaptación que deben ser consideradas para adecuar los servicios de infraestructura a los impactos del cambio climático.

Sin perjuicio de esta preponderancia del rol del MOP, es importante destacar que esta institución no trabaja sola para la correcta ejecución de su visión. El MOP recibe ayuda e input de distintas instituciones del aparato público para poder ejecutar de manera correcta su visión.

- En una etapa seminal del proceso existen una serie de aportes a distintas escalas espaciales y sectoriales que van a determinar cuál es la necesidad real del servicio de infraestructura. Por ejemplo, el Ministerio de Transporte y los gobiernos regionales y locales entre otros, son actores claves para definir la necesidad del servicio de conectividad. Otro ejemplo es la Comisión Nacional de Riego del Ministerio de Agricultura, que es un actor clave para definir las necesidades del servicio de provisión de agua para riego. O finalmente la Oficina Nacional de Emergencias (ONEMI) del Ministerio de Interior en conjunto con una serie de instituciones de nuevo a múltiples escalas, va a definir también las necesidades de protección del territorio y las personas. El diagnóstico a partir del cual se identifican las necesidades forma parte del proceso de planificación integrada de la infraestructura pública del MOP<sup>4</sup>.
- En una segunda etapa, posterior a la definición de esta necesidad de infraestructura, se deben considerar una serie de opciones complementarias o substitutas que van a poder lograr satisfacer la necesidad inicial. En este proceso debiesen participar también un número importante de instituciones para sopesar las ventajas y desventajas de las distintas maneras de asegurar el servicio requerido. A modo de ejemplo para el servicio de protección a las personas frente a eventos hidrometeorológicos extremos (Ej. inundaciones), se pueden considerar: i) obras de infraestructura de protección que ayudan a evitar la exposición a estos eventos o también protección de ecosistemas que como infraestructura verde puedan proveer también este servicio, ii) o medidas que apunten a evitar que se habiten zonas de inundación (planificación y ordenamiento territorial), iii) o mejoras en las condiciones estructurales de habitabilidad de las personas, etc. Solo en uno de estos casos existe una materialización del servicio de infraestructura en términos de una obra propiamente tal, en cuyo caso el rol del MOP es clave, sin embargo en los otros casos habrán otras instituciones (ej. Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Vivienda, Ministerio de Interior, DIRECTEMAR, entre otros) que cumplan un rol en la postulación e implementación de estas medidas substitutas o complementarias. Ejemplos

---

<sup>4</sup> Dirección de Planeamiento, MOP. 2011. Guía para la elaboración de planes. [http://www.dirplan.cl/centrodedocumentacion/Documents/Metodologia/Guia\\_Elaboracion\\_Planes\\_marzo\\_2011.pdf](http://www.dirplan.cl/centrodedocumentacion/Documents/Metodologia/Guia_Elaboracion_Planes_marzo_2011.pdf).



similares podríamos encontrar en todos los tipos de servicios de infraestructura que forman parte de la visión del Estado y del MOP.

- Finalmente nos encontramos en la etapa en que se ha decidido considerar una obra de infraestructura como una alternativa a considerar en la provisión del *servicio* de infraestructura. En este caso el rol del MOP es clave aunque se materializa de distintas maneras dependiendo del tipo de obra. Identificamos aquí dos tipos de obras: obras que son ejecutadas y financiadas por el Estado, y obras que son ejecutadas y financiadas bajo algún modo de concesión. En el primer caso encontramos algunas obras de vialidad, drenaje de aguas lluvias, protección de cauces, Agua Potable Rural (APR), obras de riego y embalses, algunos tipos de obras costeras (protección y portuarias) y edificios públicos. Existen por otra parte obras de tipo concesionadas similares a las categorías anteriores (i.e. obras viales, portuarias, embalses, provisión de agua potable y edificación).

El foco de las medidas de adaptación que se proponen en este documento aplica a aquellas obras que no se asocian al modelo concesionado. Sin embargo, el espíritu de estas aplica de igual manera en ambos casos y no debiese ser complejo extender su aplicación en este sentido. Es importante destacar que en esta etapa de evaluación del servicio incluso en el caso "no-concesionado" sigue existiendo un amplio número de instituciones participantes. Cobra especial relevancia en esta etapa el Ministerio de Desarrollo Social (MDS), institución que a través de su Sistema Nacional de Inversiones (SNI) norma y rige el proceso de inversión pública (entre ellas obras de infraestructura) de Chile. El SNI reúne las metodologías, normas y procedimientos que orientan la formulación, ejecución y evaluación de las Iniciativas Inversión (IDI) que postulan a fondos públicos, y por lo tanto tienen un rol clave en la decisión final de inversión en obras de infraestructura.

De esta manera se cierra el ciclo de análisis de servicios de infraestructura, donde intervienen las múltiples etapas y actores involucrados. De manera más clara, enfocándose en distintos tipos de obras, se presenta en el "Anexo 1: Ciclo de Vida Obras", figuras con los ciclos de vida de obras de infraestructura seleccionadas a partir de análisis previos del marco estratégico de análisis del cambio climático en la infraestructura del MOP ("Marco estratégico para la adaptación de la infraestructura al cambio climático").

En la actualidad (como se ha destacado con anterioridad a partir de los Estudios del equipo consultor<sup>5</sup>), salvo excepciones con limitada aplicación práctica, el proceso de definición, planificación, evaluación, diseño y seguimiento de los servicios de infraestructura en Chile no considera al cambio climático y las necesidades de adaptación a los impactos de éste en forma explícita. El desarrollo de un Plan de Adaptación de los servicios de infraestructura al cambio climático debiese llenar este vacío. El objetivo general de este Plan debiese ser:

---

<sup>5</sup> "Enfoque metodológico para evaluar la adaptación al cambio climático en la infraestructura pública del MOP" (2012) y "Marco estratégico para la adaptación de la infraestructura al cambio climático" (2013)

*“Objetivo General Plan de Adaptación: Adaptar los servicios de infraestructura al cambio climático”*

Las líneas de acción estratégica y medidas de adaptación concretas que se presentan a continuación podrían corresponder a los objetivos específicos de este Plan. Estas líneas estratégicas se presentan siguiendo los lineamientos propuestos en el documento “Enfoque metodológico para evaluar la adaptación al cambio climático en la infraestructura pública del MOP” el cual definió mediante un proceso de estrecho involucramiento con el Ministerio de Obras Públicas, sus Direcciones relacionadas y la SEMAT, cuatro ejes claves en el diseño del marco estratégico para la inclusión del cambio climático y los servicios de infraestructura.

- Objetivo Especifico 1: Promover la discusión interministerial relativa a la incorporación del cambio climático en el proceso de decisión de obras y servicios de infraestructura.
- Objetivo Especifico 2: Mejorar los sistemas de monitoreo de amenazas
- Objetivo Especifico 3 Mejorar los sistemas de monitoreo de vulnerabilidad
- Objetivo Especifico 4: Avanzar en el desarrollo de metodologías específicas para poder incorporar el cambio climático en la planificación de obras de infraestructura

Cada uno de estos ejes define las líneas de acción propuestas en este trabajo tal como se presenta en las secciones siguientes. En cada caso se incluye también una introducción a medidas de adaptación específicas y el desarrollo a modo de ficha de estas medidas que incluye una breve descripción, institución responsable y costo estimado asociado.

## **B. Línea de acción 1: Coordinación intra e interministerial**

Un primer eje estratégico reconoce el carácter multisectorial que tienen los procesos de decisión asociados a los servicios de infraestructura así como también aquellos asociados a generar la información necesaria para analizar los impactos del cambio climático sobre estos servicios y las posibles medidas de adaptación.

Esta conclusión también se desprende de las múltiples reuniones bilaterales y talleres llevados a cabo en este y estudios previos realizados por el equipo consultor. En éstas los organismos involucrados son muy diversos. Más adelante en el “Anexo 2: Resultados de Reuniones bilaterales y Talleres Intersectorial” se refleja parte del proceso de entender las relaciones de los distintos actores y la necesidad de coordinación inter e intra-ministerial. En materia de cambio climático, algunas de las instituciones identificadas tienen competencias directas en los procesos de decisión de servicios de infraestructura, otras son agentes facilitadores e intermediarios de información, etc.

### ***MEDIDA 1. Coordinación intraministerial - Ministerio de Obras Públicas***

#### **DESCRIPCION:**

La responsabilidad del desarrollo e implementación de un Plan de Adaptación de Infraestructura al cambio climático recae sobre varios ministerios e instituciones del Estado. Sin perjuicio de lo anterior queda de manifiesto a lo largo de este documento y los que le han antecedido la importancia relativamente alta que tiene el Ministerio de Obras Públicas en la correcta ejecución del mismo. Y por lo tanto se propone que el coordinador general del Plan sea el MOP. Es necesario también crear al interior de este ministerio la correcta coordinación de las distintas divisiones y/o departamentos que van a sufrir modificaciones cuando se incorporen los cambios metodológicos en las distintas partes del proceso de diseño, implementación y posterior operación del Plan. Tal como se propone en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PAN) (MMA, 2014) se debe conformar un equipos técnico interinstitucional (al interior del MOP) y se propone que la SEMAT (DGOP) se la responsable de lograr esta coordinación intraministerial.

**RESPONSABLE:** Secretaría Ejecutiva de Medio Ambiente y Territorio. Dirección General de Obras Públicas. Ministerio de Obras Públicas

**COSTO:** Sin costo pecuniario (implica reasignación de responsabilidades)

### ***MEDIDA 2. Coordinación con Plan Nacional de Adaptación y Planes Sectoriales de Adaptación***

#### **DESCRIPCION:**

De la descripción realizada respecto al rol de los servicios de infraestructura y los posibles impactos del cambio climático, se identifican una serie de posibles interacciones con los procesos de adaptación que se desarrollen en otros sectores y niveles de implementación. Se reconocen tres tipos de relaciones que deben ser considerados en esta coordinación:



- Necesidades de servicios de infraestructura que surjan de planes de adaptación sectorial. Es probable que los impactos del cambio climático en algunos sectores (ej. agrícola) o escalas (ej. ciudades, cuencas) generen una nueva necesidad de servicio de infraestructura o la revisión de un servicio de infraestructura existente.
- Medidas de adaptación complementarias que pueden generarse en otros planes de Adaptación sectorial. En la discusión de medidas de adaptación para hacer frente a un cambio en necesidades de servicios de infraestructura pueden surgir opciones que pueden ser considerados en otros procesos de adaptación. Un ejemplo podría ser el caso de infraestructura verde como herramienta para la provisión de recursos hídricos o protección frente a desastres. Otro ejemplo corresponde a medidas de gestión de demanda de recursos hídricos que se espera estén tratados en un Plan de Adaptación específico a este tema. Este tipo de opciones pueden surgir del proceso integral de revisión de adaptación a los servicios de infraestructura pero posteriormente servir como parte del set de opciones de medidas de adaptación en procesos sectoriales.
- Generación y traspaso de información climática necesaria para el análisis de amenazas y oportunidades futuras. Se espera que la generación de información climática futura surja de instituciones externas a la DGOP del MOP que se encarga de manera más concreta del proceso de evaluación y diseño de obras de infraestructura. El proceso de generación de esta información en cuanto a responsabilidades y *timings* ha quedado definido en la medida T1-L1-A1 del PAN (MMA, 2014).

**RESPONSABLE:** Ministerio de Medio Ambiente (coordinación interministerial)

**COSTO:** Sin costo pecuniario (implica reasignación de responsabilidades)

### ***MEDIDA 3. Inclusión del cambio climático en Plataforma Nacional de reducción del riesgo de desastre (RRD) que coordina ONEMI***

#### **DESCRIPCION:**

La Plataforma Nacional de reducción del riesgo de desastre (RRD) corresponde a un comité multi-institucional cuyo objetivo es lograr incorporar la RRD de manera transversal en las políticas, la planificación y los programas de desarrollo, en concordancia con la implementación del Marco de Acción de Hyogo<sup>6</sup>. Este marco de acción es el instrumento más importante para la implementación de RRD que adoptaron los Estados miembros de las Naciones Unidas. El objetivo del marco de acción es aumentar la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres y de esta manera reducir las pérdidas ocasionados por estos. En este marco de acción se definen 5 prioridades de acción<sup>7</sup>. Tomando en cuenta el marco conceptual desarrollado al inicio de este documento (IPCC, 2012) queda en evidencia la relación que existe entre desastres y el cambio climático como un modulador de la amenaza que ocasiona el desastres. Bajo este supuesto queda claro que todas las acciones del marco de Hyogo tienen el potencial de ayudar al proceso de adaptación al cambio climático en el largo plazo. La relación más clara, sin embargo, se da en relación a la segunda de estas prioridades de acción que define que se debe:

*“... 2. Conocer el riesgo y tomar medidas: Identificar, evaluar y observar de cerca los riesgos de los desastres, y mejorar las alertas tempranas.”*

Tomando en cuenta esta prioridad, se reconoce que una parte de esta medida de adaptación debe asociarse a la generación de información en amenazas producto del cambio climático que contribuya a riesgos potenciales futuros y también a la generación de medidas de adaptación que surgen de la práctica de RRD. La segunda parte de esta medida de adaptación requiere de un proceso institucional de discusión e idealmente homologación de conceptos entre los procesos de RRD y adaptación al cambio climático. Es importante destacar que esta medida está relacionada con el eje T4-L8 del PAN (MMA, 2014).

---

<sup>6</sup>[http://www.onemi.cl/wp-content/themes/onemi-bootstrap-master/library/doc/quienes\\_somos\\_plataforma.pdf](http://www.onemi.cl/wp-content/themes/onemi-bootstrap-master/library/doc/quienes_somos_plataforma.pdf)

<sup>7</sup>ver detalles en

[http://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/assets/documents/HFA\\_summary\\_spanish.pdf](http://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/assets/documents/HFA_summary_spanish.pdf)

**a) *Generación de información sobre amenazas y medidas de adaptación que surgen de la Plataforma Nacional para RRD***

Con respecto a la generación de información en amenazas se requiere coordinar el manejo de la información climática futura que pueda afectar algunas de las amenazas ya reconocidas. El ideal es que este proceso de coordinación sea liderado por el Ministerio de Medio Ambiente. Ya existen avances en la coordinación de protocolos de manejo de información obtenida por estaciones de monitoreo entre la ONEMI y la Dirección Meteorológica de Chile. Es necesario, sin embargo, complementar esta información de monitoreo con escenarios de clima futuro en aquellos aspectos que pueden significar cambios importantes en la ocurrencia de riesgo de desastres. Se sugiere que el MMA potencie la coordinación y traspaso de dicha información entre los actores de la plataforma de RRD (ONEMI, MOP y otros organismos) y su generación por parte de instituciones como la DMC, DGA y centros de investigación. Adicionalmente, se propone como co-responsable de esta medida la Unidad de Emergencias y Prevención del Ministerio de Obras Públicas. Esto debido a que esta Unidad tiene la responsabilidad de articular todos los Servicios del Ministerio en este tema.

Estos datos deberían servir en el marco de la plataforma de RRD como insumo para la decisión y análisis de medidas de RRD que pueden ser consideradas como medidas de adaptación al cambio climático.

**b) *Homologación de Conceptos***

La definición de riesgo que utiliza la ONEMI para la Plataforma Nacional para la RRD, es la “conjunción entre amenaza y vulnerabilidad”. Dentro de esta conceptualización se reconoce la “exposición” como un factor inserto dentro del concepto de vulnerabilidad para referirse principalmente a los aspectos físicos de la vulnerabilidad. Esta visión difiere levemente de los conceptos generados en el Informe Especial de Cambio Climático y Eventos Extremos (SREX por sus siglas en inglés), y el quinto informe del IPCC (IPCC, 2012; IPCC, 2014), que son las bases conceptuales seguidas por el equipo consultor. En estos casos como se expusiera con anterioridad, la “exposición” no pasa a componer la vulnerabilidad sino que al actuar en conjunto con ella es que se genera el riesgo a amenazas. Se deben discutir las implicancias de estas definiciones para acordar consensos a futuro. Se le atribuye responsabilidad al Ministerio de Medio Ambiente para liderar este proceso de homologación.

**RESPONSABLE:** Ministerio de Medio Ambiente y la Unidad de Emergencias y Prevención del Ministerio de Obras Públicas

**COSTO:** Sin costo pecuniario

## C. Línea de acción 2: Mejoras en monitoreo de amenazas

Esta parte de la estrategia no es algo nuevo, ya que existen y siempre han existido en Chile sistemas de monitoreo de diferentes variables de origen hidrometeorológico y oceánico que definen las características de las amenazas y oportunidades de origen climático que existen en diferentes localidades del país. Sin embargo, este proceso de monitoreo puede ser mejorado considerablemente, en particular en los temas específicos asociados a información relacionada con provisión de agua, impactos por exceso de agua y amenazas costeras.

En la medida en que mejoramos nuestros sistemas de monitoreo se puede trabajar de manera más robusta los ejercicios tanto de detección de cambios como así también de atribución al cambio climático de estos cambios (Bindoff et al, 2013). Si no hacemos este trabajo de manera correcta se pueden correr el riesgo de diseñar medidas de adaptación que no reconozcan el rol que pueden tener distintos forzantes no solamente aquellos de origen climático. Por ejemplo la ocurrencia de inundaciones puede surgir de un cambio en el clima como también en cambios en el uso de suelo de alguna parte de la cuenca. El no reconocimiento del rol que tienen las condiciones climáticas puede inducir a considerar medidas de adaptación no necesariamente asociadas a un impacto atribuible al cambio climático o que no afecten la causa de origen primordial.

A continuación se presenta una descripción de medidas de adaptación detalladas para cada uno de las amenazas/oportunidades que se pueden ver alterados por el cambio climático.

## ***MEDIDA 4. Mejoras en monitoreo en disponibilidad de recursos hídricos***

### **Introducción**

Los recursos hídricos son base del sostén ecosistémico y productivo del país. Sin embargo, la disponibilidad de estos recursos es muy heterogénea espacial (Norte-Sur) y temporalmente tanto dentro de un año (Invierno-Verano) como entre años. En adición a la variabilidad interanual, el cambio climático puede afectar en el futuro o estar afectando actualmente la disponibilidad de los recursos por lo que se requiere de tener las mejores herramientas para monitorear su disponibilidad. El correcto y constante monitoreo de la disponibilidad de agua, la capacidad de infraestructura de cada zona y el conocimiento de la demanda del recurso se vuelve una acción primordial y principal para poder satisfacer la necesidad y nivel de demanda de todos los usuarios.

En esta medida de adaptación se sugieren algunas mejoras en términos del tipo de instrumentación requerido para el correcto monitoreo de disponibilidad de recursos dentro del marco institucional que define las responsabilidades al respecto. Por otra parte es importante reconocer que el cambio climático puede afectar con distintas magnitudes relativas la disponibilidad de agua lo que permitirá con ello determinar zonas prioritarias de acción en virtud de estos impactos esperados.

### **Acerca de las instituciones involucradas.**

La institucionalidad que rodea a la gobernanza y gestión del recurso hídrico abarca muchas áreas, desde organismos medio ambientales hasta organismos de investigación y difusión. Abarcando diferentes áreas del monitoreo, desde la disponibilidad hasta el uso del agua. El organismo clave dentro de este proceso es la Dirección General de Aguas (DGA), perteneciente al Ministerio de Obras Públicas. La DGA es el organismo encargado de promover la gestión y administración del recurso hídrico en Chile. Junto con controlar la asignación de recursos y controlar el uso del agua, la DGA proporciona información hidroclimatológica generada a través de su red de estaciones distribuidas a lo largo del País. Dependientes de la DGA existen organismos con funciones específicas y que son fundamentales para un correcto desempeño. En el contexto de la escasez hídrica, juegan un importante rol los siguientes:

- **División de Hidrología:** que es la encargada de operar el servicio hidrometeorológico, realizar estudios hidrológicos de situaciones contingentes y procesar y publicar la información generada.
- **Unidad de Glaciología y Nieves:** encargada de desarrollar normativas y metodologías para el diseño de una red de monitoreo de glaciares y nieves.

Pese a existir otras instituciones que cumplen un rol respecto al monitoreo de variables hidrometeorológicas (DMC, Red Agroclima), la importancia de la red de la DGA como base de datos, es que actualmente corresponde a la red de mayor extensión en distribución espacio-temporal y es la única que cubre zonas de montaña que es donde se generan principalmente los recursos hídricos en Chile. La necesidad de incorporar acciones de mejora en las redes de monitoreo ya había sido destacado dentro de las responsabilidades que le caben a la DGA en torno a la adaptación al Cambio climático, siendo la principal de ellas la principal de ellas es la generación de información de calidad y a una frecuencia adecuada que permitan hacer análisis y ayuden a mejorar la toma de decisiones en relación al uso sustentable del recurso hídrico. Estas

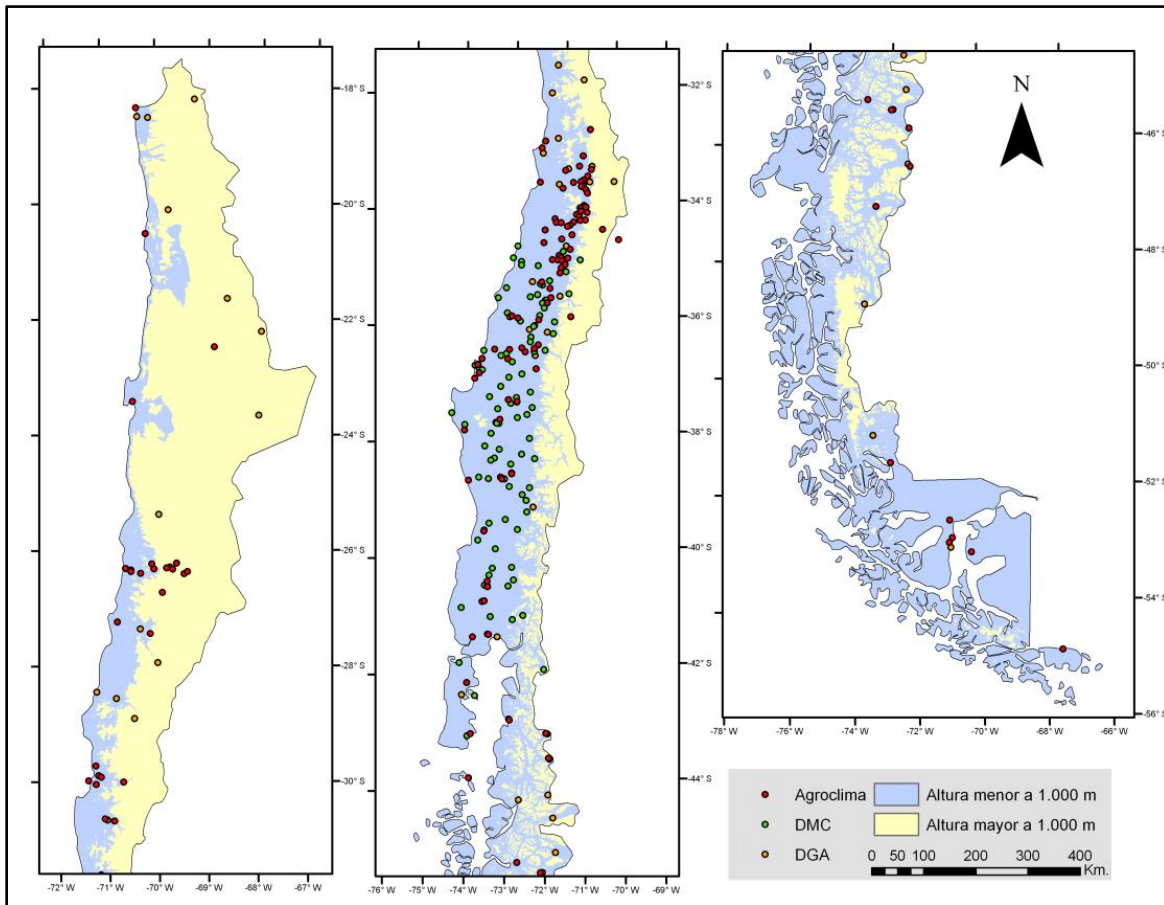
responsabilidades quedaron descritas en el estudio realizado para el MMA vía fondos del PNUD (MMA 2013). Este estudio presenta una metodología para hacer un análisis de sensibilidad de las decisiones técnicas e institucionales, al interior de la DGA, tienen sobre la adaptación al cambio climático y sobre los recursos hídricos. Se proponen algunas medidas para adaptar de manera institucional y técnicamente a la DGA frente al Cambio Climático destacándose la necesidad de un análisis asociado a las brechas de información.

#### **Acerca de la situación actual de monitoreo de la disponibilidad de recursos.**

La red de monitoreo meteorológico actualmente en funcionamiento por la DGA cubre sobre 800 estaciones, entre vigentes o suspendidas. Sin embargo, esta red de monitoreo posee tanto limitaciones a nivel de cuenca como a nivel regional, debido a que no existe la misma representación espacial o temporal, e incluso en cuanto a las variables medidas. Por una parte existe una concentración de estaciones en el área comprendida entre la Región de Coquimbo y la Región de Los Ríos, y más densa en la depresión intermedia. La Figura 20 presenta un mapa con la ubicación de las estaciones de monitoreo meteorológico que maneja la DGA, DMC y Agroclima. También existe una diferencia en que variables cuentan con registros a lo largo de Chile. Las regiones de Antofagasta, Tarapacá y Atacama, presentan una baja cobertura espacial de estaciones en comparación al resto del país, al igual que de variables registradas dentro de la base de datos de la DGA. Finalmente existen deficiencias importantes respecto a la disponibilidad de estaciones de monitoreo en zonas de alta montaña (McPhee, 2014). En cuanto al monitoreo de aguas subterráneas, la DGA ha mejorado su información con respecto a pozos de extracción, a través de piezómetros, sin embargo, la información existente no permite hacer un análisis acabado con respecto a la recarga de acuíferos. Se recomienda implementar un plan de estudios a acuíferos a nivel de cuenca al menos en aquellas que se encuentren más vulnerables en cuanto a recarga/extracción.

Finalmente en cuanto al monitoreo de glaciares, según información proporcionada por la Unidad de Glaciología y Nieves de la DGA, se establece que hoy la unidad cuenta con 22 estaciones fijas, las cuales se encuentran posicionadas en las salidas de los glaciares y miden de forma constante variables meteorológicas como (temperatura, radiación solar, dirección y velocidad del viento, humedad relativa), incluyendo estaciones fluviométricas para medir caudales de salidas de los glaciares. A estas últimas estaciones fijas, la Unidad de Glaciología y Nieves, aumenta la densidad de estaciones entre los meses noviembre a abril con 22 estaciones móviles extras, las cuales se posicionan sobre los glaciares. La densidad actual de monitoreo de glaciares está dada por la siguiente distribución:

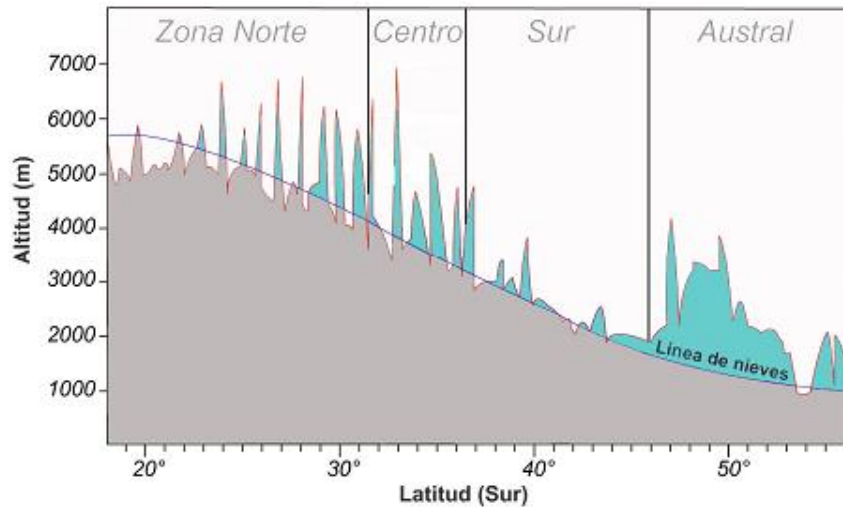
- 2 estaciones meteorológicas ubicados en la periferia del glaciar.(Tipo fija)
- 1 estaciones meteorológica ubicada sobre el glaciar. (Tipo móvil).
- 1 estación fluviométrica ubicada a la salida del glaciar.



**Figura 20.** Estaciones meteorológicas DGA, DMC y Agroclima. Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por DGA.

Debido a las características de Chile, al igual que en muchas regiones montañosas, los glaciares y nieve son de vital importancia dentro del ciclo hidrológico, ya que aportan agua fresca y recarga de ríos, lagos, embalses, napas en regiones áridas, y escorrentías tardías en periodos de sequía; por lo que son cruciales en la sustentabilidad de actividades socioeconómicas como la generación hidroeléctrica, agricultura y turismo (Falvey y Garreaud, 2007; Viviroli *et al.*, 2007; Vicuña *et al.*, 2010; Meza *et al.*, 2012). Además los glaciares, tienen la importancia de actuar como indicadores tempranos del cambio climático (Oerlemans, 1994; Masiokaset *et al.*, 2009).

Según el estudio realizado por el Centro de estudios científicos (CECS), denominado “Estrategia Nacional de Glaciares”, encomendado por la DGA en el año 2009, en el corto plazo la escorrentía glaciaria tendría una tendencia al aumento, debido a una mayor nivel de derretimiento, sin embargo, en un mediano plazo y debido al retroceso de los glaciares, esta escorrentía debería disminuir, lo que se traducirá en una disminución de la disponibilidad de agua. En el mismo estudio se hace referencia a trabajos realizados por Carrasco *et al.*, (2005) en cuanto a que el nivel de la isoterma 0°C (Figura 21) en Chile central ha aumentado, y de mantenerse la tendencia, disminuirá la cubierta de nieve en la Cordillera y al mismo tiempo la cantidad de reservas de agua.



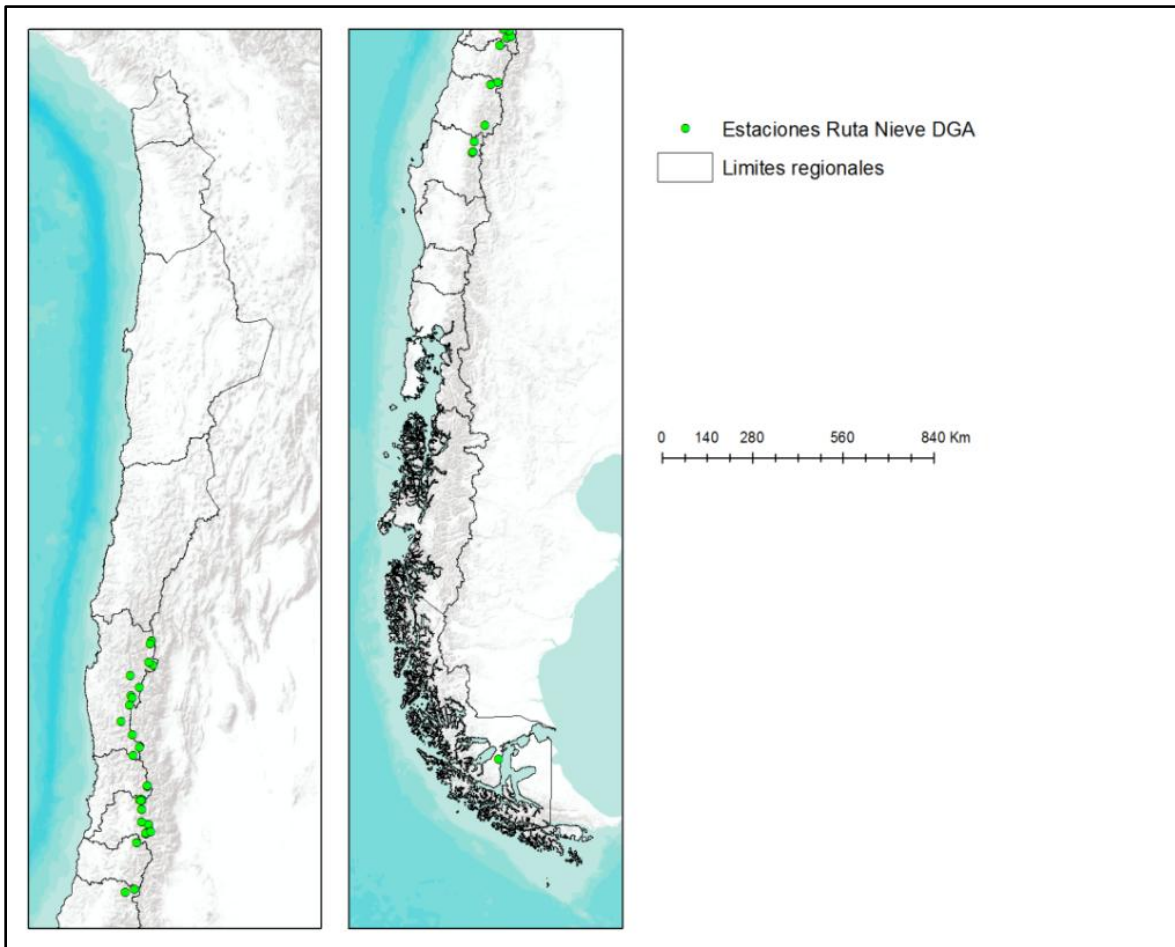
**Figura 21:** Perfil altitudinal de las Cordillera de los Andes. En azul se muestra el perfil de la línea de nieves. Fuente: DGA 2009, Estrategia Nacional de Glaciares.

La red de monitoreo actualmente instalada por la DGA, entrega información principalmente en la pre-cordillera y valles centrales. La mayoría de las estaciones existentes están situadas alrededor de centros poblados, cercanos a los puntos de salida de las cuencas principales (Figura 20). Al aumentar la elevación del terreno, las estaciones se vuelven más escasas y la información generada es menor. La unidad de Glaciología y Nieves (UGN) de la DGA ha instalado en los últimos años algunas estaciones específicamente localizadas para el monitoreo de glaciares y cobertura de nieve (Figura 22), sin embargo, existen extensas zonas altas con escaso o nulo monitoreo.

Adicionalmente se estima que 240 de un total de 620 estaciones meteorológicas cuenta con registro continuo de información recopilados por un Data Logger, lo que impide la caracterización adecuada de intensidades de precipitación durante eventos extremos.

Esto se identifica como un problema en el presente estudio, debido a la poca capacidad para generar información de la disponibilidad de agua almacenada en la cordillera. Al observar las Figura 20 y Figura 22, se puede dimensionar la poca cobertura de estaciones meteorológicas en altura, representando estas últimas un pequeño porcentaje del total de estaciones DGA.





**Figura 22.** Estaciones de ruta de nieve (sobre los 1500 msnm). Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por DGA

**DESCRIPCION:**

Para lograr un mejor conocimiento y entendimiento de las variables que influyen en la formación y duración de la nieve, y describir el tipo de sensibilidad que tienen estas variables a escenarios de cambio climático futuro, es necesario ampliar la red-hidrometeorológica y, de esta manera, mejorar el entendimiento de nuevas amenazas y oportunidades que empiecen a surgir producto del cambio climático. Considerando el actual bajo nivel de monitoreo se desprenden las siguientes actividades dentro de esta medida de adaptación:

- a) Ampliar la densidad de estaciones en glaciares, cuencas y sub-cuencas de zonas con cobertura de nieve.**

Respecto al monitoreo de variables en superficie de glaciares, se busca obtener datos para el cálculo del balance de masa y del balance de los flujos energéticos de la superficie del glaciar. De esta manera, el balance de los flujos de masa se separan en acumulación nivosa y ablación, siendo uno de los parámetros más utilizados en los estudios de evolución de glaciares, lo que además, está estrechamente relacionado con las condiciones meteorológicas del lugar. Por otro lado los

flujos de energía en la superficie del glaciar son: Radiación Neta, flujo de calor del suelo, calor latente y calor sensible. El estudio hecho por la DGA (2012):” Plan de acción para la conservación de Glaciares ante el Cambio Climático”, entrega un análisis detallado de las metodologías para establecer una red de monitoreo de glaciares.

Actualmente no existe una priorización del monitoreo de glaciares por lo que se propone realizar estudios que permitan determinar zonas prioritaria de monitoreo desde el punto de vista de la importancia de la disponibilidad y la demanda proyectada con cambio climático. El presente estudio, propone, como criterios para la priorización de monitoreo lo siguiente:

- Zonas en donde se proyecte una importante reducción de la precipitación y que además proyecten un aumento de la demanda por el recurso, ambas condiciones juntas.
- Glaciares sobre que actualmente tengan poca información generada, que tengan una representación en cuanto a su tamaño y que finalmente tengan condiciones ambientales representativas de la zona Centro-Sur del País.

Los costos calculados, se hacen con respecto a una estación meteorológica. Al costo anterior hay que agregar, los costos de las estaciones fluviométricas ubicadas en las salidas de los glaciares, las cuales son de carácter temporal y su implementación va desde los meses de noviembre a abril.

ÍTEM	COSTO
Costo Estación y sensores	\$12.500.000
Instalación y montaje	\$25.000.000 (DGA),
<b>TOTAL COSTO INVERSIÓN</b>	<b>\$37.500.000</b>
Transmisión de datos satelital Iridium (Micro spetialties)	2700 USD/año
Visitas mantención (incluido viajes en helicóptero) por temporada	\$10.000.000
Repuestos (Temporada)	\$3.000.000
Costos de operación de Estación fluviométrica por temporada	\$5.000.000

Existen además otras formas de monitoreo de glaciares, y que actualmente son usadas por la DGA, entre las más importantes cabe mencionar las imágenes satelitales, métodos topográficos y el radio sondaje. Con respecto a los métodos satelitales, la Unidad de Glaciología y nieves usa imágenes Landsat con una resolución de 15 por 15 metros. Sería interesante la inclusión de un monitoreo remoto con aviones y helicópteros, a lo largo de la temporada (Noviembre-abril) usando sensores tipo LiDar que mejora la resolución del muestreo.

Ampliar la densidad de estaciones en cuencas y sub-cuencas de zonas con cobertura de nieve (Sobre cota 1500 msnm) es de igual importancia en el análisis de disponibilidad hídrica para poder hacer modelos hidrológicos que sirvan de fuente de información para la región.

Los principales objetivos de un monitoreo de nieve están relacionados con entender los procesos de acumulación y derretimiento, conocer la evolución temporal y espacial del manto de nieve y su relación con la escorrentía de deshielo.

Entre las variables a monitorear, las de mayor importancia en términos hidrológicos son:

- Precipitación, profundidad de manto de nieve, equivalente nival en agua, temperatura del aire, radiación solar, presión atmosférica, humedad del suelo, temperatura del suelo, viento y escorrentía. La temperatura y humedad del suelo, tienen una fuerte variabilidad espacial, por lo que se hace necesario tener una densidad de estaciones de monitoreo elevado. De la misma manera, la escorrentía es una variable especialmente susceptible a errores de pronóstico, por lo que se hace necesario tener una máxima precisión en las mediciones.

A pesar de que los procesos de acumulación y derretimiento de nieve ocurren de forma continua, la modelación de este fenómeno, requieren que el monitoreo de las variables mencionadas se haga en una escala horaria. Las variables que son medidas in-situ (espesor del manto, densidad) deberán ser medidas al menos en forma mensual (DGA,2008).

A partir de este diagnóstico hecho anteriormente, con respecto al escaso monitoreo de Cordillera, y dada la importancia que presenta la medición de precipitación sólida en el aporte a caudales (relacionado a las áreas aportantes de las cuencas), se plantea la necesidad de cubrir este vacío a partir de la implementación de estaciones equipadas para ello. De esta manera, se recomiendan los siguientes requisitos a considerar para completar la red de monitoreo focalizada en elevaciones medias y altas:

- Lograr una densidad de al menos 1 estación cada 100 a 200 Km<sup>2</sup> de área entre los 1600 y 2500 m de elevación. Evidentemente las condiciones específicas de las distintas áreas afecta la densidad final que se pueda lograr.
- Al margen del criterio anterior, asegurar al menos 1 estación cada 80 km de largo de norte a sur entre esas cotas.
- Se necesita registrar la información al menos cada 15 minutos en caso de precipitación líquida y cada 6 – 24 h en caso de precipitación sólida.  
Se hace necesaria la disponibilidad de la información en forma rápida y sin requerir viajes a terreno. Por lo tanto se recomienda la transmisión de datos a través de enlace satelital.
- Se propone un plazo de 5 años para realizar esta implementación.

**RESPONSABLE:** DGA

**COSTO:**

Se debe considerar además la posibilidad de implementación de estas estaciones por parte de un proyecto de cualquiera de los entes al interior del MOP, para su posterior transferencia a la DGA para su operación y conservación.

Se estiman costos asociados a distintas fuentes para estaciones meteorológicas, incorporándose en un caso un sensor de altura de nieve.

- Estación meteorológica
- Estación meteorológica DOH (Fuente: Departamento de Proyectos de Aguas Lluvias, DOH).

ÍTEM	COSTO
Inversión estación y sensores	\$6.750.000
Instalación y montaje	\$1.500.000 (DGA)

Transmisión de datos telefonía IP	Plan de datos móviles
<b>COSTO INVERSIÓN</b>	\$8.250.000
Costo de operación y mantención por temporada (incluye viajes, personal, transporte)	\$3.500.000
Costo de repuestos por temporada	\$800.000

<b>ÍTEM</b>	<b>COSTO</b>
Inversión estación y sensores	\$7.631.139
Instalación y montaje	\$1.500.000 (DGA) ), aunque se estiman mayores costos
Transmisión de datos satelital Iridium (Micro spetialties)	2700 USD/año
<b>COSTO INVERSIÓN</b>	\$9.131.139
Costo de operación y mantención por temporada (incluye viajes, personal, transporte)	\$3.500.000
Costo de repuestos por temporada	\$800.000

<b>ÍTEM</b>	<b>COSTO</b>
Inversión estación y sensores	\$ 8.482.115
Instalación y montaje	\$1.500.000 (DGA), aunque se estiman mayores costos
Transmisión de datos satelital Iridium (Micro spetialties)	2700 USD/año
<b>COSTO INVERSIÓN</b>	\$9.982.115
Costo de operación y mantención por temporada (incluye viajes, personal, transporte)	\$3.500.000
Costo de repuestos por temporada	\$800.000

A modo de ejemplo, y considerando los criterios anteriormente propuestos, la implementación de estaciones de meteorológicas con medición de profundidad de nieve en la cuenca del río Mataquito significaría aproximadamente lo siguiente:

- Área de la cuenca: 6200 Km<sup>2</sup>
- La cuenca presenta elevaciones de hasta 4000 msnm, de los cuales alrededor del 20% se encuentran en el rango entre los 1600-2500 msnm. De esto se estima una superficie aproximada de 1240 Km<sup>2</sup>.

Siguiendo los criterios de densidad propuestos, se obtendría que:

- 1 estación cada 100-200 Km<sup>2</sup> = 6-12 estaciones para la cuenca. Este criterio verifica además que haya 1 o más estaciones en la dirección norte-sur.

Luego, la implementación de 6 estaciones meteorológicas que cuenten con sensores de nieve y transmisión de datos significarían los siguientes costos:

- Inversión equipos y sensores (x6) \$50.892.690

• Inversión instalación y montaje (x6)	\$9.000.000
• Costo operación transmisión de datos satelitales Iridium (x6)	16.200 USD/anual
• Costo de operación y mantención en terreno	\$21.000.000
• Costo de repuestos anuales	\$4.800.000

Luego para una cuenca como la del río Mataquito, y suponiendo que no hay ninguna estación ya instalada en la zona de elevaciones medias y altas, la inversión básica para 6 estaciones meteorológicas Campbell provistas de sensor de nieve estaría en torno a los \$60.000.000 (USD 100.000). En este caso el costo de inversión considera la compra de instrumental y la instalación (costos estimados), a lo que se debe agregar costos de operación y conservación, y los costos de procesamiento de los datos registrados.

### ***b) Accesibilidad de información de monitoreo***

Tener información en línea y liberadas a través de boletines mensuales o estacionales respecto a la disponibilidad de agua en Cordillera, cantidad de nieve acumulada, estado de los glaciares, nivel de embalses, caudal asignado a cada acción de riego, etc. Esa información podría ser incluida en el Boletín Información Pluviométrica, Fluviométrica, Estado de Embalses y Aguas Subterráneas. DGA-MOP y también en el Pronóstico de disponibilidad de agua temporada de riego 2014-2015.

La función de generar un sistema de información actualizado en relación a los recursos hídricos es del Centro de información de recursos hídricos. Actualmente, es difícil poder implementar un sistema en línea que permita reunir y recopilar datos generados no solo por la propia DGA, sino por organismos externos (empresas privadas, centros de investigación, etc). Se considera que una buena medida a implementar sería la creación de una gran base de datos, que pueda acopiar datos actualizados en forma automática y que pueda reunir datos internos y externos al MOP para de esta manera contar con una información robusta y lo más representativa posible. Con respecto a esto último, y en conversaciones con la DGA, el punto crítico para esta implementación, estaría dado por la capacidad de procesamiento de datos. En ese sentido, se destaca lo que esta realizando la DOH en el proyecto elaborado en conjunto con la empresa ARCADIS, en los valles de Petorca y La Ligua, para mejorar la gestión del sistema de regadío a través de la implementación de un Site de información, que permita el aporte de información de estaciones de diferente origen (regantes, DOH) y una mejora en la instrumentación entre otras cosas.

Otra medida que fue conversada con la CNR y DOH, tanto en reuniones bilaterales como en los talleres grupales, es la necesidad de solicitar a los beneficiados por la Ley de riego (18.450), toda la información climática y fluviométrica generada a partir de la instrumentación subsidiada por dicha ley. De esta manera se podrá mejorar la disponibilidad de datos en cuanto a demanda de agua, extracción en canales, monitoreo de ríos, etc.

Para poder implementar lo mencionado en los párrafos inmediatamente superiores se destacan las siguientes medidas:

- Generar los cambios administrativos y/o legales para que la DGA, CNR, DOH, puedan requerir los datos generados por asociaciones privadas que fueron financiados por el Estado.
- Determinar todas las fuentes de información hidroclimática (universidades, centros de investigación, empresas privadas, asociación de canalistas, etc) que permitan aumentar la disponibilidad de datos generados para la DGA.

- Diseñar e implementar un sistema on-line para acopiar los datos generados.
- Mejorar en forma importante la capacidad para procesamiento de datos por parte de la DGA.

## ***MEDIDA 5. Mejoras en monitoreo de caudales extremos***

### **DESCRIPCION:**

En la descripción de la medida de adaptación relacionada con el monitoreo de disponibilidad de agua se hizo mención de la red de estaciones meteorológicas que existen a escala nacional y las instituciones que las operan. Para entender cambios en la frecuencia y magnitud de eventos de exceso de agua, la calidad de esta red de monitoreo es clave. Por lo tanto, las mejoras en este sentido también ayudan al logro de la medida de adaptación que se describe acá.

Sin perjuicio de lo anterior, para el debido entendimiento y monitoreo de eventos de exceso de agua hay que considerar la red nacional de estaciones fluviométricas e hidrométricas, las cuales se encuentran a cargo esencialmente DGA. Adicionalmente la DOH cuenta con algunas estaciones fluviométricas, aunque por ley la responsabilidad del registro de información hidrometeorológica no recae en esta Dirección. Tal como se mencionara en la sección anterior en el estudio desarrollado por MOP- DGA y el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile (MOP-DGA, 2014), denominado *Preparación del Plan de Desarrollo Institucional de los Recursos Hídricos de Chile. Mejoramiento del Sistema de Información*, se identifica la cobertura y distribución actual de de la red de monitoreo, junto a las principales carencias y propuestas de mejoras a considerar. La presente medida de adaptación se relaciona con las mejoras en el sistema de monitoreo de caudales extremos. El monitoreo de estos caudales apunta principalmente al seguimiento y actualización de los registros de caudales máximos, de manera de: (1) generar información histórica estadísticamente significativa o extender registros ya en curso, (2) detectar tendencias en la media, varianza y otros estadísticos de relevancia que caracterizan el comportamiento de estos caudales, (3) ajustar modelos estadísticos estacionarios y no estacionarios, según sea el caso, a ser utilizados en el diseño hidrológico de obras hidráulicas. Adicionalmente a este objetivo principal se agregan otros impactos positivos como son: (1) la contribución de información de utilidad para calibración de modelos lluvia escorrentía y modelos regionales; (2) la identificación de modelos estadísticos simples que permiten estimar caudales máximos instantáneos a partir de caudales máximos diarios, disponibles en más localidades dentro del territorio nacional, y (3) el desarrollo de sistema de alerta temprana para la protección de zonas aguas debajo de los registros. Sin embargo, es importante mencionar que lo último debiese entenderse solo como una parte de estos sistemas ya que los tiempos de respuesta y de viaje en las cuencas chilenas es bastante corto. De este modo, los sistemas de alerta temprana deben basarse principalmente en pronósticos meteorológicos y monitoreo en tiempo real de las variables detonantes de eventos de crecidas.

Más aún, MOP-DGA (2014) plantea que *la red actual fue diseñada con el objetivo principal de caracterizarlos recursos hídricos, particularmente con un énfasis en su aprovechamiento productivo*. Por lo tanto, la información disponible suele ser insuficiente para efectos de entendimiento detallado de procesos hidrológicos, particularmente en áreas sensibles a procesos de cambio hidrológico y climático. Similarmente, estos registros son insuficientes para la caracterización de eventos extremos que ocurren en forma puntual en un periodo de tiempo relativamente corto.

En función de lo anterior, se plantea la necesidad de completar la red de estaciones fluviométricas existentes con otras estaciones especialmente consideradas para el seguimiento de potenciales efectos del cambio climático en la escorrentía. Relacionado a esto, cabe hacer mención a una serie de estudios indicados por la contraparte del proyecto ya realizados por la DGA, en donde se

aborda el sistema de monitoreo de caudales, lluvias y temperatura, junto al desarrollo de Sistemas de Alerta. De estos estudios mencionados a continuación podrían derivarse posibles medidas o un aporte a las medidas propuestas por el equipo consultor.

- Determinación de los umbrales de alerta de caudales, lluvias y temperaturas del sistema de transmisión de datos de la DGA (Rodhos asesorías y proyectos Ltda. 2010).  
El estudio se enmarca en la necesidad de realizar estudios de alertas de crecidas en los ríos de Chile. Se enfoca en la determinación de lugares propensos a inundación a partir del análisis de caudales, lo cual permita incidir en posibles medidas a tomar en cuenta en lo que respecta a acciones paliativas y formas de organización de comunidades y autoridades para enfrentar eventos extremos. Se revisan las estaciones satelitales y no satelitales incluidas en el actual sistema de alerta, junto con las variables consideradas y los umbrales definidos.
- Ley 20.304 “Sobre Operación de embalses frente a alertas y emergencias de crecidas y otras medidas que indica”. Definición de Embalse Colbún como Embalse de Control (División de Estudios y Planificación, DGA, 2010).  
En la ley en primera instancia se definen aquellos “embalses de control” y se presenta un estudio de caso en donde se hacen evidentes las consideraciones para el análisis de un embalse de control de crecidas (presentación del embalse, localización, identificación de zonas de riesgo o afección a crecidas). Para el caso del embalse Colbún, se expone la red hidrométrica asociada, las zonas vulnerables y los eventos registrados.
- Mejoramiento de la red fluviométrica para el control de crecidas. Informe final (CONIC-BF Ingenieros Civiles Consultores Ltda. Para DGA, 2011).  
El objetivo del estudio es el de *“diseñar una red fluviométrica para el control de crecidas con un periodo de retorno mayor a 25 años, en las Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Coquimbo”*. El estudio revisa distintas metodologías o enfoques para el registro de caudales altos y analiza cotas, pendientes y otras singularidades para determinar las mejores opciones para los puntos donde se localizan las estaciones con problemas (DGA, 2011). Se hace una revisión de las estaciones, periodos de tiempo y situaciones más recurrentes en donde se producen las pérdidas de información.

Por lo tanto, se propone asegurar al menos la existencia de 1 estación fluviométrica en cada una de las 1672 subsubcuencas definidas por la DGA, la cual debe ser capaz de registrar valores cada 15 minutos y transmitirlos a teledistancia (por ejemplo, en forma satelital). Siguiendo los criterios expuestos en la sección anterior respecto a la sensibilidad a los cambios del clima se recomienda para la implementación de esta medida centrar los esfuerzos en las sub-subcuencas de la zona centro-sur, cuya salida se encuentre sobre los 500 m de elevación.

**RESPONSABLE:** Dirección General de Aguas.

Se debe considerar además la posibilidad de implementación de estas estaciones por parte de un proyecto de cualquiera de los entes al interior del MOP, para su posterior transferencia a la DGA para su operación y conservación. Respecto a esto, cabe tener en consideración lo informado por la contraparte del estudio en relación a las limitaciones de personal y presupuesto de la DGA para la operación y mantención de estaciones. Se hace necesario entonces considerar este aspecto en



la coordinación y relaciones inter-institucionales dentro del MOP, así como así una posible revisión de las responsabilidades y áreas de acción para cada uno de estos organismos.

#### **COSTO:**

Para la estimación de costos, se presentan opciones dependiendo de especificaciones de estaciones obtenidas a modo de referencia. Como se aprecia, hay diferencias importantes las que se explican por las obras de instalación, las que pueden diferir según la ubicación ésta.

- Estación de monitoreo ejemplo, Sistema de Alerta de Crecidas, Parque Inundable Renato Poblete (fuente: DOH).

<b>Estación 2: ESTACIÓN LOS ALMENDROS*</b>			
DESIGNACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)
Tablero de control e instrumentación TCI	Un.	1	5.032.565
Equipos e instrumentación	Un.	1	3.819.223
Canalizaciones eléctricas	Un.	1	2.029.428
Sistema de comunicaciones	Un.	1	2.592.213
Programación, pruebas y puesta en marcha	Un.	1	1.517.509
Documentación	Un.	1	162.712
Unidad de Potencia Ininterrumpida	Un.	1	1.075.767
Empalme eléctrico de red pública	Un.	1	6.387.065
Suministro, transporte e instalación de postación interior	Un.	1	14.554.568
Caseta bloques de hormigón para TCI	Un.	1	1.349.370
<b>COSTO TOTAL ESTACIÓN</b>			<b>\$ 38.520.420</b>

\*Nota: Incluye sensor de nivel presostático.

<b>Estación 4: ESTACIÓN QUEBRADA RAMON</b>			
DESIGNACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)
Tablero de control e instrumentación TCI	Un.	1	5.073.128
Equipos e instrumentación	Un.	1	1.948.619
Canalizaciones eléctricas	Un.	1	2.529.552
Sistema de comunicaciones	Un.	1	347.514
Programación, pruebas y puesta en marcha	Un.	1	1.531.032
Documentación	Un.	1	162.711
Caseta bloques de hormigón para TCI	Un.	1	1.349.370
<b>COSTO TOTAL ESTACIÓN</b>			<b>\$ 12.941.926</b>

- Costos de referencia estimados para sensores de medición de nivel de agua (fuente: CIGIDEN).

Sensor	Costo referencia	Fuente
Level TROLL 500, Level Vented	2735 USD	DICORE Ltda
Solinst Model 3001 Levellogger	2315 USD	DICORE Ltda
5000RGN2029M3004A@90mbar	856 USD	Gems Sensors & Controls
PI1097	562.087 CLP	EI SHADLER
<b>Total aproximado</b>	<b>\$ 4.000.000</b>	

\*Nota: No se incluye ningún costo de instalación y de obras asociadas

En resumen, y considerando costos medios dentro de los levantados, se puede estimar el siguiente costo de inversión estimado por estación:

- Inversión en equipos e instalación de estación DOH básica \$12.941.926
- Costo inversión sensor de caudal estimado (1500 USD, TC 12-11-2014) \$886.275
- Costo inversión total estimado por estación: \$13.828.201

El costo entregado por estación considera solamente la inversión inicial de ésta y los sensores asociados, sumado al sensor de caudal propuesto. No se consideran costos de operación y conservación correspondientes a la vida útil de la estación, aspecto relevante a considerar. Alternativamente, existen otras formas de registro más simples que pueden utilizarse en función de los altos costos en que se puede incurrir. Por ejemplo, la contraparte menciona la solicitud hecha a grupos consultores de instalar limnímetros en ciertos puntos de manera de estimar caudales. Finalmente, se recomienda consultar en detalle lo propuesto relacionado al mejoramiento de la red fluviométrica nacional propuesta en el estudio MOP-DGA (2014), el cual estima en USD 8 M<sup>8</sup> (al 2006) la inversión necesaria para actualizar la red nacional de monitoreo fluviométrico.

Es importante también tener en cuenta los posibles costos asociados a la implementación de la sección de aforo, lo que puede significar elevados costos. Por ejemplo, las estaciones fluviométrica tipo DGA típicamente consideran el recubrimiento una sección del río con un muro de hormigón armado. Como referencia, se tiene el caso específico de la construcción de un muro de este tipo en Reñaca a raíz de un proyecto de la DOH. En este caso, el costo estimado de la obra civil fue de \$200.000.000<sup>9</sup>.

En lo relacionado a la transmisión de datos, existen diversas alternativas. La selección final dependerá de las condiciones de terreno (clima, topografía, accesibilidad, etc.) donde está instalada la estación. La alternativa inicialmente considerada corresponde al enlace satelital, aunque también se puede utilizar un enlace vía radio o un enlace de celular (GPRS), el que funciona bastante bien dada la amplia cobertura a nivel nacional. Este enlace puede ser entonces una alternativa confiable bajo condiciones climáticas extremas que atentan contra la estabilidad de la señal del satélite.

---

<sup>8</sup> Pese a no quedar claro en el informe MOP-DGA (2014) se asume que son 8 millones de USD

<sup>9</sup>fuente: Enrique Brevis Manríquez, Inspector Fiscal, Dirección de Obras Hidráulicas,

## ***MEDIDA 6. Mejoras en monitoreo de amenazas costeras***

Respecto a esta medida, se propone tener en cuenta la necesidad de desarrollar un estudio específico asociado al catastro y/o levantamiento detallado y acabado sobre la disponibilidad de información actual y su orden y sistematización, que reúna de alguna manera los esfuerzos realizados por varias consultorías que han abordado las fuentes y formatos de generación de información asociada, incluyendo la presente.

### ***a) Red de Observación de Climas de Oleaje en Aguas Profundas***

#### **DESCRIPCIÓN:**

En Chile existen importantes carencias respecto del conocimiento del clima de oleaje, parámetro fundamental para el diseño de obras marítimas. Las observaciones directas del oleaje son escasas, no existiendo en la actualidad una red de boyas estable de operación continua en el tiempo.

En la actualidad, el SHOA y el Instituto Nacional de Hidráulica (INH) poseen instrumentos de medición de oleaje que cumplen con las características requeridas de medición continua y transmisión de datos en línea de espectros de oleaje direccionales que puedan instalarse en aguas profundas. En particular, el SHOA posee una boya direccional Triaxys, la que puede ser complementada por 2 sistemas equivalentes en manos del INH. Es necesario que ambas instituciones definan protocolos de acuerdo para hacer viable el traspasar los instrumentos en manos del INH al SHOA.

En la etapa inicial, se recomienda instalar y operar 5 boyas de estas características, las que debieran proveer mediciones de oleaje entre Arica y Punta Arenas. La distribución geográfica de estas boyas podría establecerse en concordancia con las definiciones existentes en el SEP, es decir:

- Zona Norte, entre Arica y Coquimbo. 2 boyas.
- Zona Centro, entre Valparaíso y Constitución. 1 boya.
- Zona Sur, entre Talcahuano y Punta Arenas. 2 Boyas.

**RESPONSABLE:**SHOA

#### **COSTO:**

- Compra de 2 boyas Triaxys o similar : USD 160.000
- FONDEO de 5 boyas Triaxys o similar en profundidades comprendidas entre 150 m y 200 m: USD 100.000
- Costo de desarrollo de interfaz web de datos en línea: USD 15.000
- Costo anual de mantención de 5 boyas Triaxys o similar: USD 50.000
- Costo anual de transmisión de datos satelital (Iridium): USD 15.000
- Costo anual en capital humano (incluye capacitación): USD 40.000

En resumen, los costos de inversión requeridos para establecer la red de observación de oleaje en aguas profundas y el desarrollo de una interfaz web de explotación de datos en línea están en torno a los USD 275.000. Los costos de operación y mantención incluyendo las horas hombre requeridas se situaría en torno a los USD 105.000 anuales.

**b) Red de Observación de Condiciones de Oleaje en Puertos del Estado**

**DESCRIPCIÓN:**

En este ítem, se considera un sistema similar al actualmente en operación en el Puerto de San Antonio, que incluye un equipo ADCP fondeado en las cercanías del puerto, y un sistema de transmisión y explotación de datos. Se considera la expansión de este modelo al sistema de Puertos del Estado bajo la tutela del SEP, es decir 4 puertos en la zona norte (Arica, Iquique, Antofagasta, Coquimbo), 2 en la zona centro (Valparaíso y San Antonio), y 4 en la zona sur (Talcahuano, Puerto Montt, Chacabuco y Punta Arenas).

**RESPONSABLE:** sistema de Puertos del Estado (bajo tutela del SEP) en colaboración con la DOP

**COSTO:**

Para la instalación, operación y mantención de un sistema con estas características, los costos asociados se desglosan de la siguiente manera:

- Inversión inicial en la compra de 10 ADCPs Teledyne WorkHorse Sentinel 600 kHz o similar: USD 360.000
- Fondeo de 10 ADCPs en profundidades menores a 30 m: USD 30.000
- Costo de desarrollo de interfaz web de explotación de datos: USD 15.000
- Costo anual de transmisión de datos en línea: USD 15.000
- Costo anual de mantención de 10 ADCPs Teledyne o similar: USD 40.000

Por lo tanto, la inversión requerida para iniciar la operación de esta red estaría en torno a los USD 405.000, a lo que habría que agregar los costos anuales de operación y mantención de los equipos con un valor estimado de USD 55.000.

## **D. Línea de acción 3: Mejoras en monitoreo vulnerabilidad de servicios de infraestructura existentes**

Existe en la actualidad un servicio de infraestructura que proveen en conjunto los sistemas naturales y obras de infraestructura. Es importante evaluar constantemente el estado de estos servicios de infraestructura y los forzantes que pueden inducir a que no se estén cumpliendo de manera cabal estos servicios. En la medida que los servicios no se estén cumpliendo pueden surgir medidas de adaptación compensatorias a escala de nuevas obras menores o mejoras en obras existentes que permitan lograr el correcto desarrollo del servicio. En este sentido se proponen una serie de componentes dentro de la categoría general que hace alusión a esta línea de acción.

### ***MEDIDA 7. Mejoras en monitoreo vulnerabilidad de servicios de infraestructura existentes***

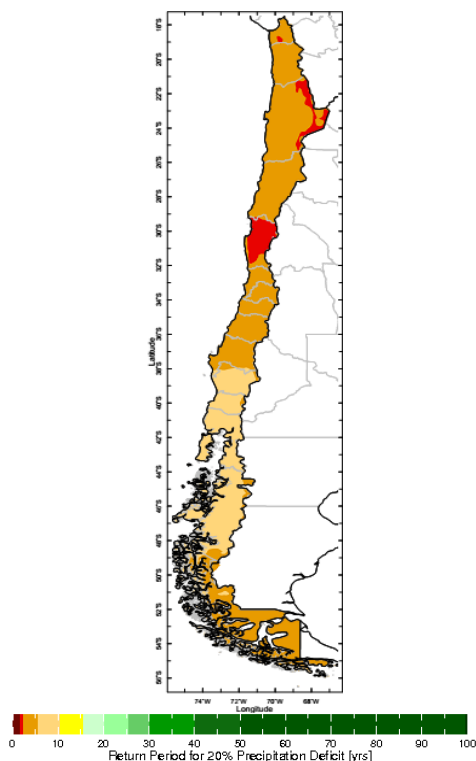
Al igual que para el caso de la medida 6, se propone el tener en consideración la necesidad de desarrollar catastros acabados respecto a las obras de infraestructura, la sistematización y orden de la información existente asociada, de manera de disponer de registros que permitan hacer un seguimiento de los planes de conservación de dichas obras.

#### ***a) Monitoreo del servicio de provisión de agua***

Es importante determinar el uso del agua separado por sector de actividad económica. Es decir, poseer datos actualizados de derechos de agua concedidos, así como la naturaleza del mismo (riego, minería, potable, etc), para cada cuenca, de esta manera se puede determinar el nivel de presión al que se encuentra sometido el servicio de infraestructura (embalse, canales, etc). Para poder llevar a cabo esta tarea es recomendable mantener actualizado y trabajar con el **catastro público de aguas de la DGA** que cuenta con información de registro público de derechos de aprovechamiento de aguas, inventario público de extracciones autorizadas de agua de aguas, etc.

Por otro lado es indispensable contar con estaciones de monitoreo aguas abajo de los embalses (canales, predios, etc), que permitan determinar el nivel de pérdidas, la eficiencia de conducción del agua y la eficiencia en el uso del agua. Para esto se propone usar todas las estaciones que sean financiadas por organismos del estado (Ley de riego, DGA, minería, etc), para contar con una base de datos fuerte, actualizada y con una buena distribución espacial. A pesar de que la DGA ha mejorado su red de datos en línea, todavía existe un desfase en la disponibilidad de datos, que en algunos casos puede llegar a 6 meses, lo que hace que disminuya la capacidad de monitoreo y con ello la capacidad de tomar acciones y decisiones durante la temporada.

Desde un punto de vista del balance hídrico estacional, la coyuntura de escasez hídrica actual, permite ver el nivel de preparación de cada zona hidroclimática en Chile. Las estadísticas de ocurrencia de sequía, y periodo de retorno, muestran las áreas con mayor preponderancia a este fenómeno (**Error! Reference source not found.**), y según las proyecciones de cambio climático, las ocurrencias de sequías, aumentarán su área de influencia además de su frecuencia en Chile.



**Figura 23.** Periodo de retorno de sequias con una reducción de 20% en precipitaciones con respecto al periodo histórico (1980-2010). Fuente: Minagri, Unidad de emergencias agrícolas.

Con respecto a la priorización de esta medida, la **Error! Reference source not found.** ilustra las zonas que con mayor probabilidad estarán sometidas a reducciones de precipitación (-20%) en un cierto periodo de tiempo. La zona Norte del País, muestra una recurrente retorno de sequias, con un tiempo entre 1 y 5 años. Si bien la zona Centro, desde la IV a VIII región, presenta comportamientos pluviométricos bastante distintos entre las regiones, se observa que el periodo de retorno de sequias es similar con un periodo de retorno para un 20 % de la reducción de precipitación entre 1 y 5 años, siendo la IV región una excepción presentando un periodo de retorno de 2 años.

Junto con lo anterior, la frontera agrícola se ha visto desplazada hacia el sur, siendo las regiones del Maule y Bio-Bio, las con mayor aumento de superficie destinadas a frutales en los últimos años (ODEPA, 2013) (**Error! Reference source not found.**). Para el caso del monitoreo de las superficies bajo riego, una idea propuesta en el taller en conjunto con la DOH y CNR, fue poder determinar la superficie que anualmente está bajo riego. Para lograr este objetivo, se propone calcular la superficie de una manera indirecta, a través de determinar el porcentaje de las nuevas hectáreas de riego que se presentan a concurso de la Ley de Riego, como el número de hectáreas bonificadas por la ley es conocido, se puede determinar el total de nuevas hectáreas de riego.

Otras fuentes de información, para complementar y suplir la falta de mediciones meteorológicas es mediante simulaciones de variables, como las realizadas por el DGF de la Universidad de Chile para proyecciones de energías renovables , posterior homogenización en unidades tanto para la estimación de variables o comparación con estaciones con mediciones.

**b) Revisión periódica de obras fluviales, de drenaje y viales (puente) (Catastro de estado de operación de obras hidráulicas de drenaje, obra fluvial o puente)<sup>10</sup>.**

Actualmente la Dirección de Vialidad del MOP revisa obras de infraestructura que han presentado problemas y/o fallas en general, lo cual se asocia a la etapa de “conservación” en el ciclo de vida de las mismas. En esta medida, se propone contar formalmente con una ficha de catastro donde se reporten distintas condiciones de operación de estas obras. El objetivo es no sólo permitir la toma de acción inmediata en caso de emergencia, sino también levantar información que permita tomar medidas en lo relacionado a metodologías de diseño hidrológico/hidráulico.

**DESCRIPCIÓN:**

Se hace relevante el continuo monitoreo del funcionamiento de las metodologías de modelamiento y diseño de esta infraestructura dada la incertidumbre asociada a la variabilidad y cambio climático. En el caso concreto de la infraestructura vial, fluvial y de drenaje, es necesario un procedimiento continuo de revisión de estrategias y supuestos de modelamientos como también de métodos de diseño, teniendo en cuenta el funcionamiento y desempeño observado en terreno. Este proceso permite validar o modificar procedimientos de manera asegurar mejores diseños al corto plazo.

Se propone catastrar anualmente, y en forma acabada, al menos una obra fluvial, una obra de drenaje y un puente por cuenca. Luego, se propone expandir la cobertura de este monitoreo a nivel de subcuenca, partiendo por aquellas ubicadas en la zona centro sur (IV – X regiones). Finalmente, y en función de la información levantada cuando el monitoreo periódico esté implementado, se propone realizar una revisión cada 5 años de las metodologías, criterios, supuestos y herramientas de modelación y diseño hidrológico/hidráulico. Lo anterior permite verificar si el comportamiento de la variable de diseño sigue lo considerado en la metodología de diseño. Ante este análisis es posible entonces modificar estas metodologías si fuese necesario, lo que implicaría una actualización tanto en la documentación de diseño, como en el capital humano. La medida 10 “Incorporación de cambios metodológicos en la etapa de desarrollo de obras de infraestructura asociadas a conectividad y de protección que se pueden ver afectados por eventos extremos de origen hidrometeorológico” presenta distintas metodologías para el diseño bajo variabilidad climática que se pueden adoptar en el proceso de revisión de las metodologías actualmente utilizadas.

Adicionalmente se hace necesario, aunque entendiéndose que esto trasciende la medida propuesta, que se revise y/o valide el cálculo de las externalidades y beneficios socioeconómicos calculados en el diseño.

**RESPONSABLE:** MOP (DOH + Dirección de Vialidad). En el estudio técnico de revisión de modelamiento y criterios de diseño pueden participar universidades

**COSTO:**

- **Catastro Anual:** Se desconocen los costos, pero dada las actividades de monitoreo en que ya se incurre actualmente, esta actividad podría tener un costo muy menor.

---

<sup>10</sup>Esta medida también puede ser aplicada en otras obras que son afectadas por eventos extremos: ej. embalses

- **Estudio técnico de revisión de estrategias de modelamiento y criterios de diseño cada 5 años:** \$40.000.000 – \$45.000.000, con duración de 6 meses.



Ejemplo de Planilla de Catastro de Obras:

**Ficha: Registro de sitio frente a evento extremo de crecida**

---

**1.- Identificación**

**Nombre de la obra**

---

*Incluir nombre, número o código de registro, indicar donde se encuentra registrado*

**Tipo de obra**

---

*Obra fluvial, obra hidráulica, obra vial (especificar tipo)*

**Inspector**

---

**Fotografías**

---

*Incluir ID/ código verificador*

**2.- Localización**

**Región**

---

**Localidad de referencia**

---

**Cuenca, subcuenca o subsubcuenca**

---

*indicar categoría, nombre, código DGA*

**Curso, cuerpo de agua o sistema servido por obra**

---

*tipo de curso/cuerpo de agua, nombre*

**Coordenadas de su ubicación (lat/long) u otra**

---

**Cota (msnm)**

---

**Datum**

---

*indicar referencia de sistema de proyección/coordenadas, datum*

**3.- Antecedentes generales de la obra**

**Año de construcción**

---

**Periodo de retorno de diseño**

---

**Fecha de ultima inspección**

---

**4.- Resultado de la inspección**

**Funcionamiento frente al ultimo evento**

---

**Elevación máxima alcanzada por el agua**

---

**Magnitud del evento que causo la falla**

---

**Presencia de material solido arrastrado**

---

**Estado de funcionamiento de elementos móviles (si los hay)**

---

**Estado de funcionamiento de sensores (si los hay)**

---

**Existencia de daño físico**

---

*si/no descripción del daño*

**Urgencia de la reparación**

---

*alta, media, baja, innecesaria*

**Características de la reparación**

---

**Otros (se escriben a continuación)**

---

**Figura 24.** Ejemplo de Ficha de Catastro de Obras

### **c) *Monitoreo del Borde Costero***

#### **DESCRIPCIÓN:**

Para mejorar el diagnóstico y el seguimiento del potencial impacto de las condiciones de oleaje sobre el borde costero, proponemos propiciar la instalación de una red de observación basada en imágenes de video instaladas en las principales playas del país con el objeto de caracterizar su evolución en el tiempo y favorecer una gestión más eficiente del litoral. Del mismo modo, estas técnicas de monitoreo podrían comenzar a implementarse como medidas de acompañamiento y monitoreo para obras de infraestructura implantadas en el borde costero. Ambas instancias tienen como objetivo de mediano plazo, el complementar y mejorar la información relativa al impacto que pudiera tener el oleaje sobre sistemas litorales, y la caracterización de su variabilidad espacio-temporal y proveer así la información necesaria para la toma de decisiones relativa a acciones de adaptación.

La estimación de costos para la implementación y operación de sistemas de monitoreo costero basados en imágenes de video entregados aquí consideran su uso en las principales playas del país con fines de gestión del litoral, impulso al turismo y mejora de la seguridad. Se costea el establecimiento de un sistema de observación con suministro de datos en línea en las 10 playas más importantes del país, a cargo de DIRECTEMAR. Los costos considerados incluyen la inversión inicial en equipamiento, elaboración de una interfaz web de administración de datos, costos de transmisión de datos, mantención del sistema y post-procesos y análisis de información.

**RESPONSABLE:** DIRECTEMAR.

#### **COSTOS:**

Los costos asociados quedan establecidos de la siguiente manera:

- Inversión inicial en 10 playas considerando 2 cámaras instaladas por sitio: USD 10.000
- Infraestructura necesaria para la instalación de las cámaras: USD 30.000
- Desarrollo de interfaz web para administración y gestión de datos: USD 15.000
- Costo anual de planes de transmisión de datos: USD 7.000
- Costo anual de mantención del sistema: USD 30.000
- Costo anual de operación y explotación de información (incluye horas hombre, capacitaciones y post-proceso): USD 50.000

Los costos estimados de inversión asociados a los equipos, instalación y desarrollo de software, para la implementación de un sistema como este en 10 sitios del país son del orden de USD 55.000. A esta inversión habría que agregarle los costos anuales de transmisión de datos, mantención del sistema, y profesionales encargados del post-proceso y explotación de la información, los que se estiman en USD 87.000.

### **d) *Incorporación de un Monitoreo Semi-continuo del Impacto de Obras de Infraestructura***

#### **DESCRIPCIÓN:**

Utilizando las mismas técnicas de monitoreo de video consideradas en la sub-sección anterior, podría ser de interés para el seguimiento de los impactos de obras de infraestructura costera encargadas por la DOP. Una alternativa sería considerar incluir en las bases de licitación la

implementación de planes de monitoreo basados en imágenes de video que pudieran ser incorporados en el tiempo a la red de monitoreo costero descritas previamente. Esto ayudaría a hacer crecer esta red e ir mejorando en el tiempo su cobertura espacial.

**RESPONSABLE:** DOP, DIRECTEMAR.

**COSTOS:**

Los costos adicionales a considerar en las licitaciones de obras encargadas por la DOP serían aproximadamente los siguientes (costeados por unidad de obras de infraestructura):

- Inversión inicial considerando 2 cámaras: USD 1.000
- Infraestructura requerida para la instalación del sistema: USD 2.000
- Costo anual de transmisión de datos: USD 700
- Costo anual de mantenimiento del sistema: USD 6.000

Asumiendo que los datos generados por este sistema son gestionados y post-procesados por el mismo equipo encargado de administrar el sistema de monitoreo descrito en la sub-sección anterior, se establecen costos adicionales para las obras licitadas del orden de USD 3.000 en inversión e instalación de equipos, y de USD 6.700 anuales por costos de operación y mantenimiento.

Respecto a lo existente actualmente en Chile, que pueda servir como marco de referencia para iniciativas de monitoreo de costas, posibles modelos e instituciones con capacidades, la DIRECTEMAR cuenta con una red de cámaras, las cuales no se consideran de monitoreo costero propiamente tal, sino que se encuentran emplazadas en las Capitanías de Puerto con el objetivo de asegurar la vigilancia para la seguridad en los puertos y de las naves que se encuentran en las bahías asociadas (referencia: Rodrigo Arancibia Valdivia, Jefe de División Planificación y Control, Depto. TECMAR, DIRECTEMAR). Se consultó respecto a esto, pero no se logró profundizar mucho más al respecto. Se estima que es una institución que cuenta con las capacidades técnicas para operación de los equipos, pero para los fines específicos manifestados. Para el caso de la propuesta, se apunta al monitoreo del desempeño de obras de infraestructura respecto a condiciones variables del oleaje principalmente.

## E. Línea de acción 4: Introducción de cambios metodológicos para la evaluación de impactos del cambio climático y medidas de adaptación en obras de infraestructura

Una última línea de acción respecto a la adaptación al cambio climático de los servicios y obras de infraestructura propone mejoras metodológicas que permitan incorporar los cambios esperados en las amenazas o condiciones climáticas futuras de acuerdo a escenarios de cambio climático. La incorporación de estos cambios metodológicos debe tomar en cuenta cuatro elementos claves:

- *Etapas y actores involucrados en el desarrollo de obras de infraestructura:* los cambios metodológicos deben considerar la posibilidad de afectar algunas o varias de las fases involucradas en el proceso de decisión de nuevas obras de infraestructura (en términos generales planificación, factibilidad, diseño). Esto de por sí involucra también la coordinación de múltiples actores.
- *Dificultades para generar información relevante en términos de caracterizar amenaza:* tal como se describe con anterioridad, el desarrollo de información climática futura relevante para la caracterización de amenazas u oportunidades asociadas al cambio climático es un proceso complejo, dependiente de las necesidades en términos de escalas espaciales y temporales y con alto nivel de incertidumbre.
- *Periodos de tiempo en que se espera la obra cumpla con su servicio considerado:* teniendo en cuenta que la amenaza del cambio climático se manifiesta de manera progresiva en el tiempo, en función de los cambios que se van generando en el balance radiativo de la atmósfera asociada con distintos niveles de emisión de gases de efecto invernadero. Mientras mayor es el periodo de tiempo en que se espera la obra cumpla con su servicio mayor la pertinencia de incluir el cambio climático en la caracterización de la amenaza.
- *Valoración económica y social del servicio que provee la obra de infraestructura:* conectando los dos puntos anteriores, es necesario también considerar la valoración del rol que cumple la obra de infraestructura. Tomando en cuenta aspectos prácticos respecto al uso de recursos financieros acotados es importante considerar este aspecto al momento de implementar cambios metodológicos que incluyan análisis de cambio climático.

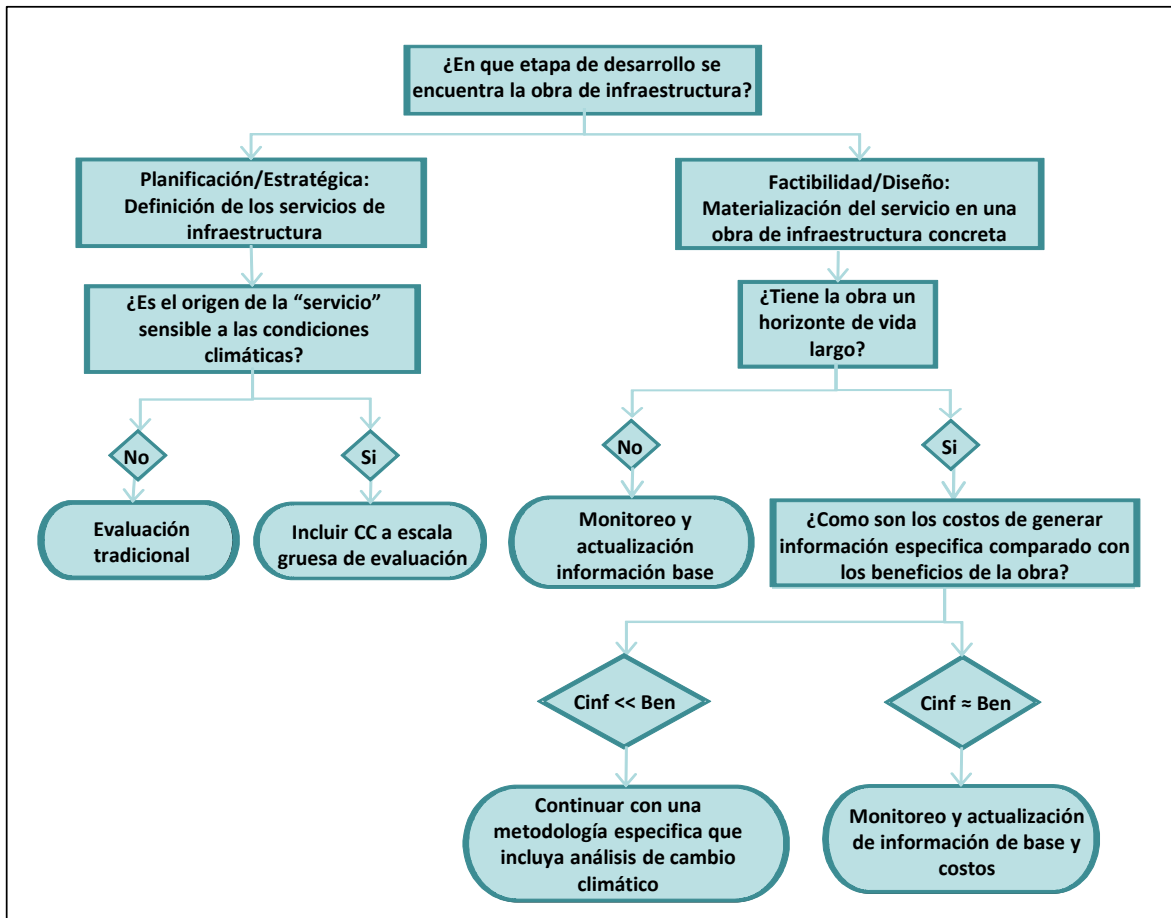
El resultado de estas consideraciones va a modular los aspectos claves que es necesario resolver para lograr la implementación de cambios metodológicos en el proceso de desarrollo de obras de infraestructura. Las preguntas claves que deben resolverse son:

1. ¿Cómo se avala que este cambio metodológico sea tomado en cuenta en el proceso final de decisión respecto a obras de infraestructura?
2. ¿Qué tipo de obras deben incluir este cambio metodológico?
3. ¿Dónde (dentro del proceso de desarrollo de una obra) se debe incluir el cambio metodológico?
4. ¿Cuál es el cambio metodológico que se propone?

La evaluación socio económica para determinar las rentabilidades sociales de la inversión pública en infraestructura, es responsabilidad del Ministerio de Desarrollo Social (MDS). Esta etapa del ciclo de vida del proceso de inversión en infraestructura tiene como objetivo determinar si las

iniciativas de inversión propuestas son socialmente rentables (RS); sólo aquellas que obtienen la calificación RS son consideradas para la asignación de recursos para su ejecución. Para resolver el primer punto de los expuestos anteriormente se propone una medida específica de adaptación (*MEDIDA 8. Incorporación de cambios metodológicos en la evaluación económica de obras de infraestructura con perspectivas de largo plazo*), que evalúe la pertinencia y detalles metodológicos que permitan incluir aspectos como incertidumbre, horizonte y tasas de descuento a incluir en la evaluación socio económica de obras de infraestructura.

Para resolver los siguientes puntos se propone trabajar a nivel de servicio de infraestructura requerido usando como marco de trabajo para decidir la necesidad de incluir cambios metodológicos el árbol de decisiones que se presentase con anterioridad en el Estudio “Marco estratégico para la adaptación de la infraestructura al cambio climático” (ver Figura 25). Este árbol de decisiones separa el problema en dos partes dependiendo de la etapa de análisis en que se encuentra la obra determinada. Si la etapa es de definición básica de la necesidad la pregunta clave que debe hacerse es si la necesidad de infraestructura pueda generarse a raíz de un posible cambio en el clima. Si por otra parte la obra se encuentra en algunos de los niveles más avanzados de evaluación (desde la pre-factibilidad hasta el diseño), las preguntas claves que deben hacerse se asocian al horizonte en que se espera la obra prevea un servicio de infraestructura; y por otra parte un comparación de los costos requeridos para la generación de información requerida para representar la nueva o modificada necesidad de servicio infraestructura, asociada a un cambio climático en relación a los beneficios que se espera estén asociados al servicio que proveería la obra. En términos simples, este criterio indica que aquellas obras con largos horizontes de operación (típicamente 30 años) y con beneficios relativamente altos en relación al tipo de información necesaria para evaluar los escenarios de cambio climático, requerirían de cambios metodológicos para incorporar este factor en el proceso de evaluación.



**Figura 25.** Propuesta metodologica para decidir si es necesario incorporar la evaluación de la adaptación al cambio climático en una obra determinada

### ***MEDIDA 8. Incorporación de cambios metodológicos en la evaluación económica de obras de infraestructura con perspectivas de largo plazo***

#### **Introducción**

El Decreto Ley 20.530, que crea el Ministerio de Desarrollo Social (MDS) y sus modificaciones, en su artículo 1° establece que le corresponde a este Ministerio evaluar las iniciativas de inversión que solicitan financiamiento del Estado, para determinar su rentabilidad social, velando por la eficacia y eficiencia del uso de los fondos públicos, de manera que respondan a las estrategias y políticas de crecimiento y desarrollo económico y social que se determinen para el país. A su vez, se establece como una función esencial, que el MDS debe establecer y actualizar los criterios y las metodologías de evaluación aplicables para realizar las evaluaciones de los proyectos presentados al Sistema Nacional de Inversiones (SNI). El Departamento de Metodologías, División de Evaluación Social de Inversiones, tiene el encargo de desarrollar el análisis de iniciativas de inversión pública, así como de perfeccionar metodologías para la formulación y evaluación de estudios, programas y proyectos de inversión pública, aplicando la normativa vigente para el SNI.

Las iniciativas de estudio de las metodologías surgen por iniciativa propia del Departamento de Metodologías o de otras entidades. Por ejemplo, la evaluación del Programa Sistema Nacional de

Inversiones (DIPRES, 2007)<sup>11</sup> recomendó fortalecer el proceso de perfeccionamiento de las metodologías de evaluación para atender la demanda que por metodologías de evaluación de programas de inversión integral con visión de desarrollo territorial. Asimismo, propone la necesidad de generar instancias de trabajo conjuntas entre el MIDEPLAN (hoy MDS) y DIPRES con el fin de establecer con claridad el proceso y forma de evaluación que se debiera aplicar a las concesiones, considerando integrar los resultados de la evaluación de la rentabilidad social de las inversiones con el análisis del modelo de negocios (tarifas, calidad de servicio, acceso, etc.).

La incorporación del cambio climático en el ciclo de vida de la provisión de infraestructura, implica un aumento significativo de la incertidumbre de tanto los beneficios como costos del proyecto de inversión e incrementos de los horizontes de evaluación. Sin embargo, no es óptimo incorporar el cambio climático al ciclo de vida de todos los proyectos de inversión en infraestructura pública<sup>12</sup>. La incorporación del cambio climático en la vida útil de la obra dependerá de la etapa en que se encuentra el proceso de gestión de la obra de infraestructura. Por ejemplo, Si la obra se encuentra en una fase de planificación, se debe analizar si la necesidad de llevar a cabo la obra de infraestructura puede verse influenciada por condiciones climáticas. En el caso que no sea influenciada, no es necesario incorporar el cambio climático. Sin embargo, si es influenciado entonces la incorporación del cambio climático dependerá de la vida útil de la infraestructura; si es de corto plazo, no corresponde considerar el cambio climático, en caso contrario la inclusión del CC dependerá del costo de generar la información necesaria para incorporar el CC en relación al beneficio de la obra de infraestructura. Solo en aquellos casos en que los beneficios superen los costos de la información se debe considerar explícitamente el CC en la evaluación socio-económica de la obra de infraestructura. (Para mayores detalles ver Donoso, Vicuña, y Camaño, 2013).

Esto determina que las metodologías y criterios de evaluación de proyectos de inversión actuales, no sean potencialmente los más adecuados para las obras que deben considerar el cambio climático, de acuerdo a los criterios expuestos anteriormente. Por lo anterior, se recomienda que el Departamento de Metodologías de la División de Evaluación Social de Inversiones del MDS, en cercana coordinación con el Ministerio de Obras Públicas (MOP), realice un estudio de las metodologías de evaluación de proyectos de inversión que permitan incorporar el aumento de la incertidumbre y de los horizontes de evaluación que implica la consideración del cambio climático en el diseño de los proyectos de infraestructura pública.

Se propone que el MOP sea co-responsable de esta medida de adaptación. Esto dado que el MOP es la institución que tendrá la responsabilidad de levantar la información, antecedentes y datos requeridos para aplicar la nueva metodología de evaluación que incorpora la incertidumbre. Más específicamente, se requiere de información de calidad, a escalas temporales y espaciales relevantes para enfrentar el problema del aumento en la incertidumbre. Actualmente existen

---

<sup>11</sup> DIPRES. 2007. Informe Final de Evaluación del Programa Sistema Nacional de Inversiones. [http://www.dipres.gob.cl/595/articles-31759\\_doc\\_pdf.pdf](http://www.dipres.gob.cl/595/articles-31759_doc_pdf.pdf).

<sup>12</sup> Donoso, G., Vicuña, S., y Camaño, M. 2013. Metodología propuesta para la inclusión del cambio climático en la planificación de infraestructura. en: Neira, A. y González, P. (ed). *Marco Estratégico para la Adaptación de la Infraestructura al Cambio Climático*. Santiago, Chile: p. 49- 142.

carencias con respecto a la resolución temporal de la información, así como una falta de caracterización espacial de esta<sup>13</sup>.

Además del análisis de las metodologías de evaluación social bajo incertidumbre, es necesario mejorar el monitoreo de condiciones climáticas e hidrológicas de cuencas en altura y en zonas más extremas del país<sup>14</sup>. Esto es prioritario debido a falta de información y altos niveles de incertidumbre producto de lo mismo. En la medida que no se aborde este tema, las metodologías de evaluación propuestas no serían factibles por no contar con la información necesaria.

A su vez, se propone crear una instancia de coordinación entre las instituciones responsables de la gestión de riesgos. Para incorporar el cambio climático en la evaluación de obras de infraestructura pública, es importante que todas las instituciones públicas que tengan responsabilidades en la planificación, diseño, y evaluación de las obras de infraestructura estén alineadas con los cambios metodológicos requeridos. El estudio “Marco estratégico para la adaptación de la infraestructura al CC”<sup>15</sup> concluye que esta instancia de coordinación interministerial tendría que además considerar la necesidad de implementar instrumentos complementarios para lograr una eficaz reducción de vulnerabilidades y amenazas. En varios casos, será más óptimo reducir las vulnerabilidades que diseñar una obra de infraestructura como medida de reducción del riesgo.

El Departamento de Metodologías del MDS concuerda con la medida propuesta de realizar un estudio de las metodologías de evaluación de proyectos de inversión que permitan incorporar el aumento de la incertidumbre que implica la consideración del cambio climático en el diseño de los proyectos de infraestructura pública. Su preocupación central se centra en determinar correctamente el costo de dicho estudio, de manera de contar con los recursos necesarios para su realización<sup>16</sup>. Los costos de esta medida, dependen de la disponibilidad de información. En el caso que se aplique las metodologías estudiadas a obras de infraestructura evaluadas previamente, las cuales cuentan con la información requerida, se estima que el costo sería de aproximadamente \$30.000.000. En caso contrario, se deberá levantar la información necesaria por lo que el costo del estudio propuesto es significativamente mayor.

### **Revisión de metodologías de evaluación de infraestructura a largo plazo por parte del Ministerio de Desarrollo Social**

Gironas *et al.* (2013)<sup>17</sup> concluyen que el diagnóstico, planificación y diseño de infraestructura deben incorporar la incertidumbre ya que esta está expuesta a fenómenos aleatorios, tales como climáticos e hidrológicos, así como condiciones de operación inciertas. Esto determina que los

---

<sup>13</sup>Gironás, J., Donoso, G., y Camaño, M. 2013. Infraestructura, incertidumbre y cambio climático. en: Neira, A. y González, P. (ed). *Marco Estratégico para la Adaptación de la Infraestructura al Cambio Climático*. Santiago, Chile: p. 37-45.

<sup>14</sup>Esta necesidad se aborda a través de las medidas propuestas para las líneas de acción 2 y 3.

<sup>15</sup>Neira, A. y González, P. (ed). 2013. *Marco Estratégico para la Adaptación de la Infraestructura al Cambio Climático*. Santiago, Chile.

<sup>16</sup>Espinoza, V. Jefe Departamento de Metodologías, MDS. 2014. Comunicación en Reunión Bilateral Investigadores con Departamento de Metodologías, MDS.

<sup>17</sup>Gironás, J., Donoso, G., y Camaño, M. 2013. Infraestructura, incertidumbre y cambio climático. en: Neira, A. y González, P. (ed). *Marco Estratégico para la Adaptación de la Infraestructura al Cambio Climático*. Santiago, Chile: p. 37-45.



procesos de identificación de las necesidades de infraestructura y la planificación y decisión de inversión se vean afectas a esta incertidumbre, la cual se ve incrementada bajo escenarios de cambio climático. Al considerar explícitamente el cambio climático en estos procesos, potencialmente se incorporan cambios en los diseños de la infraestructura para mejorar su robustez y flexibilidad frente a los efectos del cambio climático, así como para asegurar el cumplimiento de su rol en la gestión del riesgo. Además, surgen nuevas necesidades de infraestructura pública como medidas de adaptación a los impactos futuros del cambio climático.

Sin embargo, esta inclusión del cambio climático en el ciclo de vida de una obra de infraestructura aumenta el grado de incertidumbre, los horizontes de evaluación y la temporalidad óptima de inversión en una obra de infraestructura.

### **Incertidumbre**

La metodología actual de evaluación de proyectos de inversión de infraestructura pública, establece que como criterios de evaluación un enfoque costo-beneficio o un enfoque costo eficiencia, dependiendo si es posible cuantificar y/o valorar los beneficios del proyecto (División de Evaluación Social de Inversiones, 2013a)<sup>18</sup>.

En el caso de aplicar la metodología costo-beneficio, es necesario realizar proyecciones de los beneficios y de los costos en el horizonte de evaluación de la propuesta de inversión en infraestructura. Cuando los beneficios son inciertos debido a que dependen de factores aleatorios, tales como en los proyectos de defensas fluviales, la División de Evaluación Social de Inversiones, 2013b<sup>19</sup> señala que se debe contar con registros estadísticos anteriores. Con estos registros es posible generar curvas de beneficios anuales en función de la probabilidad de excedencia, a partir de las cuales se pueden estimar el valor esperado de los beneficios en la situación con y sin proyecto. Esta metodología de evaluación, sin embargo, al considerar exclusivamente el indicador de posición de una distribución probabilística, no considera en forma explícita la incertidumbre. Adicionalmente, analiza las distribuciones probabilísticas solo basados en registros estadísticos históricos<sup>20</sup>. Uno de los impactos del cambio climático es el cambio en las distribuciones probabilísticas.

En la Figura 26 se ejemplifica esta situación. En esta se presentan tres probables cambios en la función de densidad que generan: (i) un cambio en el valor esperado; (ii) un aumento en la variabilidad; y (iii) un cambio en la simetría. No obstante, una señal consistente en cualquiera de estas situaciones es el aumento en las probabilidades de ocurrencia de los eventos extremos y, por ende, se modifican las curvas de beneficios anuales en función de la probabilidad de excedencia. Por lo anterior, al incorporar el cambio climático en una obra de defensas fluviales, es necesario estimar los beneficios esperados en base a las distribuciones probabilísticas proyectadas.

---

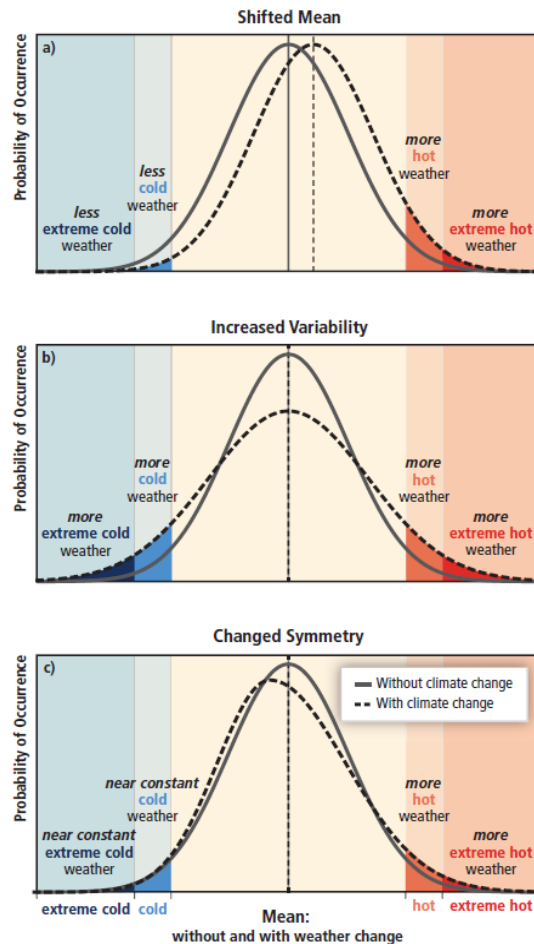
<sup>18</sup> División de Evaluación Social de Inversiones, MDS. 2013a. Metodología General de Preparación y Evaluación de Proyectos.

<http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/fotos/Metodolog%C3%ADa%20General%202013.pdf>.

<sup>19</sup> División de Evaluación Social de Inversiones, MDS. 2013b. Metodología General de Preparación y Evaluación de Proyectos de Defensas Fluviales.

<http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/fotos/Defensas%20fluviales%202013.pdf>.

<sup>20</sup> Estas críticas son aplicables a las metodologías de evaluación de proyectos de inversión de otra naturaleza, tales como embalses para riego, embalses multipropósitos, y obras portuarias, entre otros.



**Figura 26.** Cambios en las distribuciones probabilísticas producto del Cambio Climático

Por ende, la incertidumbre en los flujos futuros de beneficios y costos requiere ser incorporados en la evaluación de manera que puedan ser gestionados<sup>21</sup>. En casos extremos, el no considerar estos aspectos puede causar el fracaso de un proyecto a pesar de componentes financieros muy favorables<sup>22</sup>. Ahora bien, existe un amplio rango de alternativas para la incorporación formal de incertidumbre en las evaluaciones de proyectos. Cada una implica distintos niveles de complejidad. La elección final de la alternativa dependerá principalmente de la disponibilidad de información y de la calidad de estos, así como de la precisión requerida para la evaluación.

Las metodologías de análisis de riesgo más comúnmente utilizados son el análisis de sensibilidad y análisis de probabilidad. El análisis de sensibilidad modela el impacto del cambio en las variables críticas del proyecto de inversión en infraestructura, con el fin de identificar los factores que son particularmente sensibles al riesgo. El análisis de probabilidad, en cambio, es una técnica más

<sup>21</sup>Tweedale HM. 1997. Maximizing the usefulness of risk assessment. In: Melchers, RE, Stewart, MG editors. Probabilistic risk and hazard assessment. Balkema: Rotterdam, p. 1–11.

<sup>22</sup>Toakley, A.R. 1997. Risk analysis of project development portfolios: a review of research needs. Australian Institute of Building Papers, 8: 135–143.

sofisticada que utiliza la simulación Monte Carlo para modelar el efecto combinado de varios factores de riesgo en función de sus probabilidades. Una de las dificultades del análisis de probabilidad es la necesidad de contar con la probabilidad de ocurrencia de cada estado de naturaleza para evaluar la incertidumbre. Por lo que se la estimación de la distribución de probabilidad de cada factor de riesgo, a partir de datos históricos.

Una manera de incorporar la incertidumbre sin incurrir en las debilidades identificadas anteriormente, es el uso de la Teoría de Posibilidades (*Possibility Theory*). Esta metodología es similar al análisis de probabilidades, en el sentido que realiza simulaciones de Montecarlo, pero no requiere de la estimación de las probabilidades de ocurrencia de cada estado de naturaleza, sino que determinar rangos posibles de cada factor. El rango de valores, o intervalo, se determina con metodologías subjetivas tales como la metodología Delphi. La Teoría de Posibilidades se ha utilizado con éxito en una amplia gama de campos de la ingeniería<sup>23</sup>.

Más recientemente, ha aumentado el uso de la evaluación basada en opciones para considerar la incertidumbre<sup>24</sup>. Además de considerar la incertidumbre, esta metodología permite flexibilizar la decisión de inversión y permite analizar la temporalidad óptima del proyecto; es decir, permite determinar el momento óptimo de inversión en infraestructura pública. Este enfoque utiliza la teoría de los procesos estocásticos para desarrollar modelos de análisis para la toma de decisiones y selección de proyectos. Se basa en el cálculo y programación dinámica para proporcionar soluciones cerradas, o, en los casos más complejos, soluciones numéricas basadas en simulaciones de Montecarlo, a los problemas de la decisión de inversión en infraestructura pública. Cualquier proyecto de inversión en infraestructura puede ser pensado como un instrumento para provocar cambios esperados y, al mismo tiempo, un vehículo para disminuir el riesgo mediante la creación de un paquete de opciones. Algunas de estas opciones se refieren a la capacidad de adaptación proyecto interno, es decir, la capacidad de gestionar de manera flexible para reaccionar de forma óptima a las diferentes circunstancias.

El incorporar el cambio climático en la evaluación de proyectos de infraestructura con la metodología de evaluación de opciones se centra en que la inversión es óptima una vez que un cierto umbral es alcanzado. Cuanto mayor sea la inversión, y cuanto mayor sea la incertidumbre, mayor es el umbral de acción, es decir, la decisión menos óptima es la inversión inmediata. Por lo tanto, a pesar de que la infraestructura puede ser valiosa para la sociedad, la incertidumbre respecto a sus beneficios implica que se debe monitorear la evolución en el estado de naturaleza para definir la temporalidad óptima de inversión.

En síntesis, bajo este enfoque, un proyecto de inversión en infraestructura puede ser definido como un compromiso temporal de los recursos necesarios para su inversión, con la expectativa de beneficios futuros. La evaluación con opción real pone de relieve el hecho de que la discontinuidad

---

<sup>23</sup> Por ejemplo: Chisaki, M., Tatish, M., Tatsumi, H. 1992. Project scheduling under fuzziness, FPERT. Proceedings of the 3rd Int. Conf. on Modern Techniques on Construction, Engineering and Project Management Singapore, 24–26 March (1992); Lorterapong, P., Moselhi, O. 1996. Project-network analysis using fuzzy set theory. J. of Construction Engng. and Manage, 122 (4): 308–318; y Tam, C.M., Fung, I. 1996. Assessing safety performance by fuzzy reasoning. Asia Pacific Building and Construction Manage. J, 2 (1): 6–13.

<sup>24</sup> Ver: Yeo, K.T., Qiu, F. 2003. The value of management flexibility—a real option approach to investment evaluation. International Journal of Project Management, 21: 243–250; y Luehrman, T.A. 1998. Investment opportunities as real options: getting started on the numbers Harvard Business Review, July–August (1998).

entre el compromiso de recursos y la producción de beneficios implica una forma de incertidumbre relacionada con el tiempo. Antes de que el proyecto se apruebe o materialice, este puede ser visto y analizado como una oportunidad, no sólo para llevar a cabo un conjunto de acciones futuras concertadas, sino también para aprender sobre ellos.

Por ende, teniendo en cuenta indicadores de riesgo (que den alerta en caso de que las obras no puedan o mermen la calidad de proveer servicios), se podría adaptar la infraestructura de manera más flexible, e incluso incorporar infraestructura complementaria en caso de que los indicadores se “gatillen”.

### **Horizontes de Evaluación y Tasas de Descuento**

La División de Evaluación Social de Inversiones utiliza actualmente para el cálculo del VAN, tasas de descuentos sociales que son constantes para todo el horizonte de evaluación. De acuerdo al MDS, la tasa social de descuento representa el costo de oportunidad en que incurre el país cuando utiliza recursos para financiar proyectos. Esta depende de las preferencias intertemporales del consumo a través del tiempo, de la rentabilidad marginal del sector privado y de la tasa de interés de los créditos externos<sup>25</sup>. La tasa social de descuento actualmente vigente corresponde a 6% anual.

Sin embargo, el uso de tasas de descuento constantes para calcular el VAN de proyectos de inversión con horizontes de evaluación muy largos, es considerado problemático por temas de la equidad inter-generacional. Esto se debe a que el peso relativo de generaciones futuras disminuye significativamente al emplear tasas de descuento constante con horizontes de evaluación de muy largo plazo. Este tipo de argumento se ha utilizado para postular la tasa de descuento válida para evaluar proyectos de inversiones con horizontes de tiempo que involucran a varias generaciones, debe ser cero o muy cercana a cero (ver por ejemplo Turner, *et al.* (1993)<sup>26</sup>). Dasgupta (2001)<sup>27</sup> argumenta que no es adecuado considerar tasas de descuento nulas ya que estas implican otorgar la máxima prioridad a las generaciones actuales.

Al respecto, Cropper y Laibson (1999)<sup>28</sup> proponen la idea de emplear tasas de descuento decrecientes a través del tiempo. Esta propuesta la basan en la observación empírica que las personas descuentan el futuro en forma hiperbólica, descontando a tasas mayores los flujos más cercanos y a tasas interanuales menores los flujos más lejanos. El problema con este tipo de formulación, sin embargo, es que potencialmente da origen a inconsistencias intertemporales.

---

<sup>25</sup> División de Evaluación Social de Inversiones. 2014. Precios Sociales Vigentes 2014. [http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/fotos/Precios%20Sociales%20Vigentes%202014%20\(21julio14\).pdf](http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/fotos/Precios%20Sociales%20Vigentes%202014%20(21julio14).pdf).

<sup>26</sup> Turner, R. K.; D. Pearce e I. Bateman. 1993. *Environmental Economics: An Elementary Introduction*. The Johns Hopkins University Press.

<sup>27</sup> Dasgupta, P. 2001. *Human Well Being and the Natural Environment*, Oxford University Press.

<sup>28</sup> Cropper, M. L. y D. Laibson. 1999. "The Implications of Hyperbolic Discounting for Project Evaluation", en P.R. Portney y J.P. Weyant (eds.), *Discounting and Intergenerational Equity*. Washington, DC: Resources for the Future, pp. 163-72.

Un posible metodología para estimar la tasa de descuento que debiera considerarse para proyectos de largo plazo, es la empleada por Edwards (2002)<sup>29</sup> y que se en la metodología Gamma Discounting (Weitzman, 2001).<sup>30</sup>

Considerando esta necesidad, el Departamento de Metodologías de Evaluación, MDS, realizó un estudio para elaborar tasas de descuento sociales decrecientes, el cual fue liderado por Gonzalo Edwards. Por lo anterior, la metodología de evaluación socio-económica cuenta con una guía metodológica para incorporar este elemento prioritario que surge al considerar el cambio climático en el ciclo de vida de los proyectos de inversión en infraestructura. Sin embargo, se propone que el Departamento de Metodologías del MDS desarrolle un protocolo para implementar dicha modificación metodológica.

#### **DESCRIPCION:**

En base a lo anteriormente expuesto, se propone como medida de adaptación lo siguiente:

- a) Que se ejecute un estudio de metodologías de evaluación de proyectos de inversión que permitan incorporar el cambio climático (CC) en el ciclo de vida de los proyectos de infraestructura pública.

El resultado esperado de este es una propuesta de metodología de evaluación social de proyectos capaz de incorporar el incremento en la incertidumbre producto de la incorporación del cambio climático al ciclo de vida de una obra de inversión en infraestructura. El análisis de la metodología a considerar se basará en aplicar las metodologías a una evaluación ya realizada y comparar los resultados.

- b) Implementar el uso de tasas de descuento decrecientes en la evaluación social de proyectos de largos horizontes de acuerdo a lo propuesto en el estudio del profesor Edwards.

**RESPONSABLE:** Departamento de Metodologías, División de Evaluación Social de Inversiones del Ministerio de Desarrollo Social y la Dirección de Planeamiento del Ministerio de Obras Públicas

#### **COSTO:**

Por una parte existe el costo no pecuniario de implementar los cambios metodológicos asociados a una nueva tasa de descuento. Con respecto a la segunda parte de la medida de adaptación propuesta el presupuesto depende de la información disponible para reevaluar un proyecto de inversión en infraestructura. No obstante, se estima que el presupuesto como mínimo ascendería a aproximadamente \$30.000.000 (USD \$50.000).

---

<sup>29</sup> Edwards, G. 2002. La tasa de descuento en proyectos de inversión de largo plazo. *Revista de Análisis Económico*, Vol. 17, Nº 2, pp. 123-141

<sup>30</sup> Weitzman, M. L. 2001. Gamma Discounting. *American Economic Review*, 91 (1), pp. 260-71.

## ***MEDIDA 9. Incorporación de cambios metodológicos en las etapas de desarrollo de obras de infraestructura asociadas a la provisión de recursos hídricos***

### **Introducción**

Los recursos hídricos cumplen una serie de funciones básicas para el desarrollo humano y ecosistemas. Los recursos hídricos pueden proveer un servicio de subsistencia (ej. provisión de agua potable para satisfacer necesidades básicas de la población) o un servicio productivo (ej. provisión de recursos hídricos para riego o para actividades industriales). En muchos casos para lograr el correcto aprovechamiento de estos servicios es necesario contar con la infraestructura que permita trasladar el recurso espacialmente desde los lugares donde está disponible a lugares donde se necesita o que permita trasladar el recurso temporalmente desde los momentos en que el recurso está disponible a los momentos en que se necesita. En el primer caso podemos considerar obras de infraestructura que permitan extraer el recurso desde alguna fuente natural (pozo de aguas subterráneas o extracción en cauces) y posteriormente distribuirla hacia el punto de consumo (acueductos, canales). En el segundo caso podemos considerar en primera parte el servicio de infraestructura que provee la misma cordillera con su capacidad de acumular agua dentro de un año (manto nival) y entre años (glaciares) y en otra parte obras de infraestructura como embalses que dependiendo de su tamaño en relación a los caudales pueden cumplir uno o ambos objetivos.

El cambio climático puede afectar en el futuro las necesidades de servicios de infraestructura al alterar la disponibilidad de agua en la fuente o alterar las necesidades de consumo de agua. En algunos de esos casos el rol que provee la cordillera como regulador natural de caudales puede verse también alterado. Todo esto generaría por una parte posibles nuevas necesidades de servicios de infraestructura y también nuevos desafíos para evaluar los beneficios o costos de obras particulares que se consideren para suplir esta necesidad de servicios.

Desde el punto de vista del rol del Estado en la provisión de estos servicios de infraestructura encontramos dos ejemplos claros: el del servicio de Agua Potable Rural, a cargo de la DOH del MOP y el de servicio de agua riego en el que confluyen dos instituciones relevantes, la CNR y la DOH además de otras instituciones complementarias tal como se refleja en el "Anexo 1: Ciclo de Vida Obras" donde se presentan los ciclo de vida de desarrollo de este tipo de obras. Adicionalmente vía la Superintendencia de Servicios Sanitarios existe un rol del Estado en términos del desarrollo de obras de infraestructura para la provisión de agua potable en grandes urbes. En este último caso, a pesar de no hacerse una mención explícita en este informe es posible recoger elementos transversales que sirvan para que sean considerados en los procesos de adaptación de servicios de agua potable urbano.

En el caso de las APR utilizando el enfoque general postulado en la Figura 25 se puede indicar que dada las complejidades para generar escenarios de cambio climático que indiquen el cambio en la disponibilidad de recursos hídricos para este tipo de solicitudes (típicamente pozos) se hace inoperativo establecer cambios metodológicos en el proceso de decisión de este tipo de obras. Se sugiere en ese esquema que en estos casos lo conveniente es operar en los marcos de las Líneas Estratégicas 2 y 3, "mejorar los sistemas de monitoreo de amenazas" y "mejorar los sistemas de monitoreo de vulnerabilidad" respectivamente.

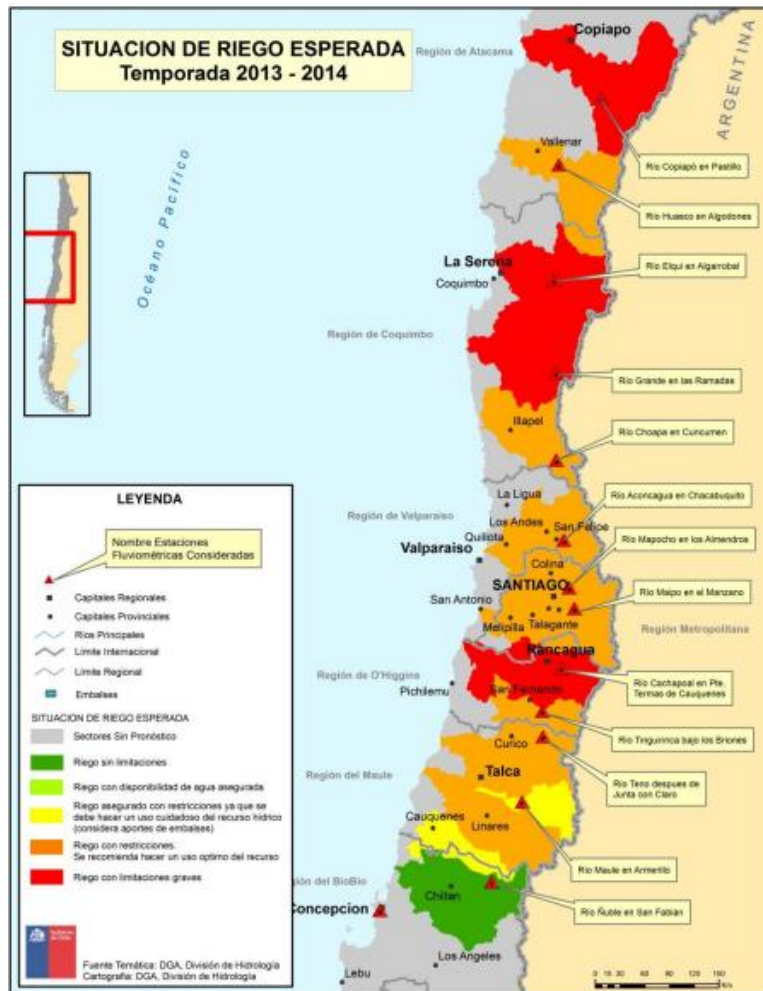
En el caso de obras de riego, en particular embalses, se reconoce que, por una parte dado el periodo largo de operación de estas obras y por otra los altos costos/beneficios de estas obras en relación a los costos de generar la información climática adecuada es pertinente introducir cambios metodológicos en distintas etapas de desarrollo de estas obras.

### **Necesidades y obras de infraestructura relacionadas con riego**

Parte de la economía de muchas regiones de Chile, están condicionadas a su capacidad de tener una agricultura de riego. El poder mantener ese nivel e incluso aumentarlo, dependerá del grado de infraestructura que se logre. En este punto los embalses son parte fundamental en esta tarea. La operación, la planificación y el diseño de los sistemas de embalses se verán afectados por las predicciones de cambio climático para Chile, las cuales anticipan un cambio en el régimen de precipitaciones, así como también un cambio en la demanda por el recurso agua.

La situación de coyuntura actual (descrito con más detalle en medida de adaptación 7) permite reconocer en el contexto de escasez hídrica actual las complejidades que enfrenta la provisión de agua para riego en el país. A modo de ejemplo la Figura 27 muestra la situación de riego esperada para la temporada 2013-2014 de acuerdo a información proporcionada por la DGA. Sin considerar Copiapó que presenta problemas estructurales de abastecimiento de agua, la zona desde la región de Coquimbo (IV) hasta la localidad de Chillan (VIII) presenta una situación desde riego con restricciones hasta una situación de riego con restricciones graves. En ambas situaciones se deben tomar acciones extraordinarias para poder cumplir con la demanda de agua esperada.



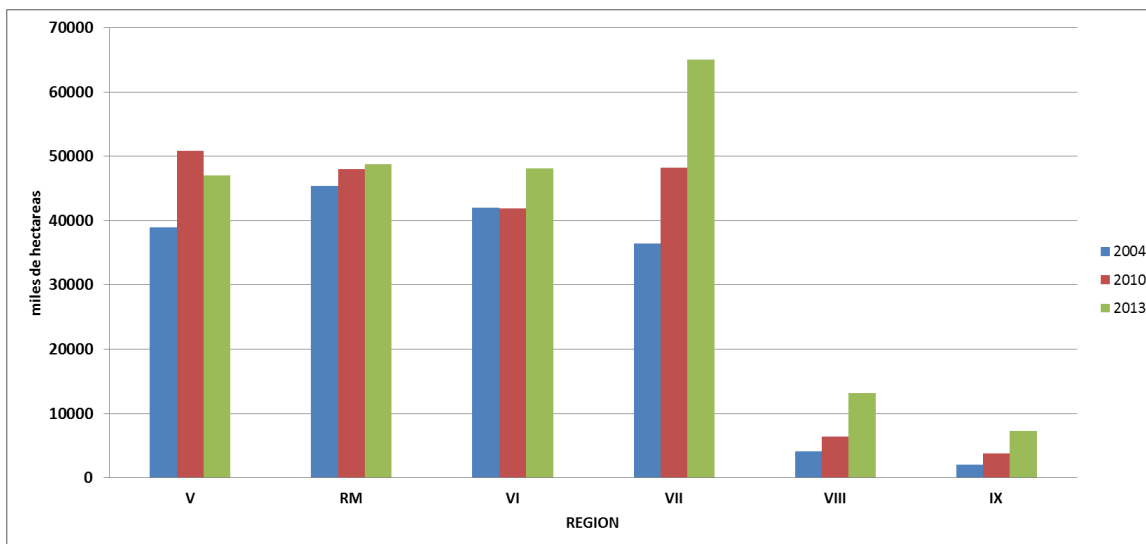


**Figura 27.** Situación de riego esperada, temporada 2013-2014. DGA, Pronóstico de disponibilidad de agua, temporada de riego 2013-2014

Los antecedentes presentados anteriormente no necesariamente significarían un antecedente de problemas de escasez hídrica, si es que no existiera una demanda por el recurso agua que justificara tales problemas de escasez. En los últimos 15 años, la frontera agrícola de frutales se ha desplazado desde una zona Centro-Norte (V-RM), hacia una zona Centro-Sur (VI-IX) (Figura 28), lo que también ha hecho aumentar y cambiar el manejo del agua en estas últimas. Todo este escenario conjunto necesita ser incorporado en la metodología de planificación de los recursos hídricos de las regiones, se recomienda incorporar esta planificación en las estrategias de desarrollo regional.

En este contexto de cambios en las condiciones de oferta y demanda de agua es que enfoca esta medida de adaptación que se ejecuta en dos etapas descritas a continuación. Una primera parte corresponde a la etapa estratégica de planificación de obras de embalse y una segunda etapa corresponde a la etapa de evaluación de obras específicas. Ambas partes se describen a continuación.





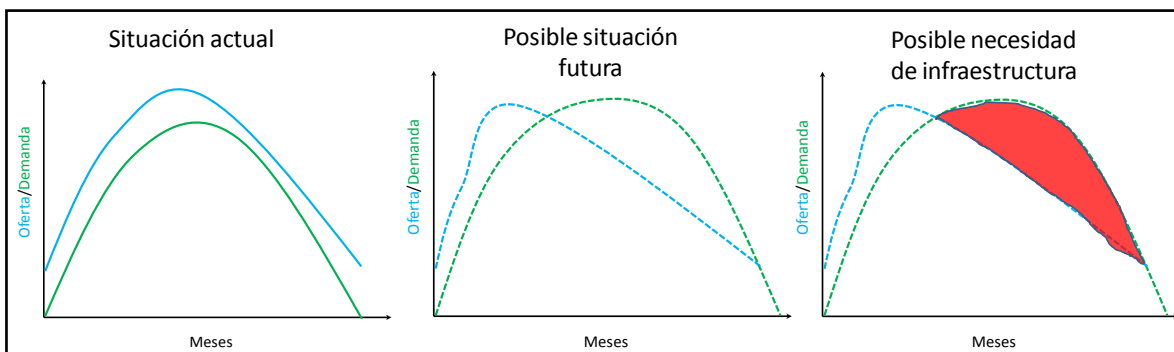
**Figura 28.** Superficie de frutales de la zona Central de Chile(miles de hectáreas), separado por Región. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Odepa: Evolución de la superficie frutícola por región.

**a) Etapa de planificación de obras de riego**

Las obras de infraestructura, en este caso embalses de riego, se deben evaluar en la etapa de planificación en base a una necesidad. Esa necesidad estará determinada en razón de la disponibilidad de agua existente y de la demanda, que a su vez, estará determinada por el potencial y proyecciones agrícolas de la región.

**DESCRIPCION:**

Se propone la realización de un estudio que identifique a escala de subcuenca las necesidades gruesas de capacidad de almacenamiento que se requiera producto de los impactos del cambio climático. Este estudio debería trabajar sin la necesidad de desarrollar modelos hidrológicos nuevos sino que usar información disponible en estudios anterior para presentar una sensibilización esperada sobre la oferta natural de recursos hídricos y la demanda evaporativa esperada producto de cambios en el clima y cambios posibles en el patrón de cultivos. Un esquema de esta naturaleza podría identificar posibles necesidades de infraestructura no reconocidas actualmente. El siguiente ejemplo hipotético representa el ejercicio que se puede desarrollar.



**Figura 29.** Representación esquemática de necesidades de embalses producto de los impactos del cambio climático en la oferta y demanda de agua para riego. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de este estudio podrían ser input de entrada a los procesos estratégicos de decisión de necesidades de obras de embalse que coordina la CNR y que se materializan en los procesos de Planes Regionales de Riego. Hoy la CNR se encuentra en periodo de discusión para la implementación de estos Planes Regionales de Riego, en donde se plantea hacer una planificación integral del recurso a nivel de cuenca, lo que hará más eficiente, por un lado la subvención del estado para proyectos de riego y por otro lado un manejo más completo del uso del agua a nivel de cuenca. Los Planes regionales de riego, plantean hacer un nuevo enfoque de la política de riego, menos centralizada, y con mayor adaptación a las necesidades de cada zona. Es en esta planificación regional en donde se considera, será de gran utilidad la inclusión del cambio climático como un elemento establecido y que abarque las diferentes realidades de cada zona con respecto a la vulnerabilidad para el cumplimiento de demandas de servicio.

**RESPONSABLE:** CNR, DOH, DGA.

**COSTO:**

Pensando que el estudio podría proponer una priorización de subcuencas a las que hacer este ejercicio en relación a los impactos previsibles del cambio climático se estima que este es un estudio cuyo costo puede ascender a aproximadamente \$25.000.000 (USD 40.000).

**b) Etapa de evaluación de obras de riego**

**DESCRIPCION:**

En este caso estamos considerando el proceso de evaluación (factibilidad) de un embalse propiamente tal. Para hacer este proceso de evaluación se recomienda ocupar modelos acoplados hidrológicos y agronómicos que permitan determinar el balance hídrico con escenarios de incertidumbre. Los modelos hidrológicos usados deben tener sensibilidad a cambios climáticos, y de esta forma reflejar los cambios generados por las proyecciones futuras del cambio climático. Otro factor importante del modelo es la capacidad para generar información con respecto al cambio del uso del suelo. Por último es fundamental que la evaluación de los impactos económicos sean hechos para escenarios de ausencia y presencia de la infraestructura.

Esta nueva generación de modelos hidrológicos, deben permitir abordar y solucionar problemas que se producen al simular eventos futuros en el mediano y largo plazo, que fueron identificadas

en el estudio hecho por el Centro de Cambio Global UC (Marco estratégico para la Adaptación de la infraestructura al Cambio Climático) entre las cuales se destacan las siguientes:

- Las condiciones hidrometeorológicas y de uso de suelo, muchas veces son variables e inciertas.
- Falta de una cantidad y calidad de datos requerida.
- Comportamiento integrado de la cuenca aportante a la zona de interés para el diseño.

Un modelo que recientemente se ha estado usando para realizar este tipo de análisis es la plataforma WEAP. Este modelo permite hacer análisis de cambios en la hidrología y en la demanda de agua frente a diferentes escenarios climáticos, ya sea de sensibilidad o proyectando condiciones futuras usando GCMs (MOP, 2013).

**RESPONSABLE:** DOH.

**COSTO:**

Se estima que el costo para desarrollar este tipo de modelos es aproximadamente \$ 105.000.000 por cuenca (USD 175.000). Es importante considerar que este costo debe ser comparado con los costos que existen en la actualidad para hacer análisis de disponibilidad, demanda y distribución de agua por lo que el costo final es una cifra inferior.

### ***MEDIDA 10. Incorporación de cambios metodológicos en la etapa de desarrollo de obras de infraestructura asociadas a conectividad y de protección que se pueden ver afectados por eventos extremos de origen hidrometeorológico***

Al igual que en el caso anterior es importante reconocer a priori que los cambios metodológicos que se describen a continuación no debiesen aplicarse a toda obra de infraestructura que pueda ser afectada o que se cree para hacer frente a eventos extremos de origen hidrometeorológicos (terrestre). En este contexto el tipo de servicios/obras que se consideran son: obras de drenaje urbano, obras de protección de cauces y obras viales<sup>31</sup>. La experiencia de trabajos previos que queda materializada en el esquema de la Figura 25 indica que en al menos en una primera etapa los cambios metodológicos debiesen estar incluidos tomando en cuenta los siguientes elementos:

- Etapa de evaluación (no de planificación). A diferencia de la posibilidad en el caso de riego de que el cambio climático cree una necesidad de infraestructura nueva no se ve en estos casos la relación directa entre el cambio climático y la creación básica de esta necesidad.
- Obras de larga duración y de gran envergadura: en esta categoría entran puentes, obras viales y obras de drenaje. Las obras de protección de cauce típicamente se consideran para periodos de operación cortos (MOP 2012).
- Del conjunto de obras anteriores, en función de los costos actuales de proveer información relevante para el análisis de amenazas, se considera que en al menos una primera etapa los cambios metodológicos probablemente afectarían al proceso de evaluación y diseño de puentes.

Los componentes de esta medida de adaptación se relacionan con estos criterios dando un énfasis particular al desarrollo de metodologías para el caso de evaluación de obras viales como puentes.

#### **Descripción:**

En esta medida se plantea alternativas en la etapa de diseño de obras fluviales, de drenaje y puentes para incorporar condiciones no estacionarias. Estas modificaciones están orientadas a complementar y formalizar la metodología desarrollada por Demaría et al. (2013) quienes incorporaron el cambio climático en el diseño de un puente hipotético en el Río Mataquito, en el sector de Licantén. Se realiza una revisión de los métodos propuestos en la normativa vigente (Manual de Carreteras), desde el cual se proponen una serie de modificaciones a tener en cuenta.

#### **Escorrentía y diseño hidrológico actual**

Existen diversos métodos para estimar el valor de diseño de una variable física una vez elegido un riesgo a adoptar durante la vida útil de la obra. En general, estos métodos asumen un comportamiento estacionario e independiente de esta variable, así como de aquellas que la determinan. El Manual de Carreteras del MOP (MOP, 2012) clasifica los métodos de estimación de crecidas de diseño en tres tipos: (1) Métodos directos, (2) métodos indirectos y (3) métodos lluvia-escorrentía. La selección del tipo de método dependerá de la información hidrológica disponible, las características de la cuenca, y el tipo de variable a estimar, así como su escala espacial y temporal. Tradicionalmente se aconseja usar varios de estos métodos independientemente junto con un análisis de sensibilidad de los resultados ante cambios en los parámetros o en las condiciones iniciales. De esta manera se obtiene una aproximación al

---

<sup>31</sup> Esta medida también puede ser aplicada en otras obras que son afectadas por eventos extremos: ej. embalses

comportamiento hidrológico del caudal máximo en varios escenarios, y se puede elegir una magnitud conservadora para el diseño.

- **Métodos directos**

Se basa en el análisis de frecuencia de información histórica de la variable a considerar en el diseño (típicamente el caudal), la cual se asume como estacionaria. Esta información debe ser, en lo posible de larga data, y registrada en un punto de interés para el diseño. Estos métodos entregan como resultado una relación entre la magnitud de la crecida y su probabilidad de ocurrencia (i.e.  $z$  v/s  $P(Z>z)$ ), por lo que, una vez definido el periodo de retorno a adoptarse, se puede estimar el valor de diseño de la variable hidrometeorológica. El Manual de Carreteras identifica métodos gráficos/empíricos y analíticos para definir la relación crecida v/s probabilidad de ocurrencia. En particular los métodos analíticos se basan en ajustar a la muestra un determinado modelo probabilístico (i.e. una función densidad de probabilidad  $f(z,\theta)$  o  $F(z,\theta)$ ).

- **Métodos indirectos/regionales**

Son utilizados cuando existen pocas o nulas observaciones de la variable de diseño (i.e caudal) en el lugar de estudio, pero si las hay en un área cercana o hidrológicamente similar. En este caso se extienden estos registros apoyándose en métodos regionales mediante la derivación de una curva de frecuencia de crecidas aplicable a cualquier punto dentro de una región hidrológicamente homogénea. Luego se establece una relación para estimar la crecida en función de propiedades de la cuenca de interés y de la lluvia. En la aplicación actual de estos métodos también se asume estacionaridad y de ocurrencias de eventos independientes.

- **Método lluvia-escorrentía (indirecto)**

Los métodos lluvia-escorrentía se utilizan cuando no hay registros extensos de caudales en el punto de interés, o porque la regionalización no es posible o deseable. Con estos métodos se estiman las crecidas en base a la relación causal que existe entre la precipitación u otras variables explicativas y el escurrimiento. Típicamente se usa información de precipitación, y en algunos casos temperatura, para generar la correspondiente información de caudales para el diseño. En cuanto a los modelos, estos son típicamente determinísticos, y abarcan desde relaciones empíricas muy simples hasta complejos modelos de cuenca que representan las variaciones espaciales y temporales del proceso de transformación. La aplicación tradicional (simulación por evento) consiste en identificar una tormenta de diseño de un cierto periodo de retorno, la que es transformada por uno de estos modelos para obtener la crecida de diseño con el mismo periodo de retorno. Sin embargo es posible utilizar la denominada simulación continua, donde el modelo no recibe un evento de precipitación de diseño, sino un registro continuo de esta y otras variables meteorológicas, de manera que se simula una serie continua de escorrentía. Esta serie es luego caracterizada probabilísticamente, de manera que se puede asociar magnitudes de caudales con periodos de retorno. Cabe notar que una dificultad de la modelación continua lluvia-escorrentía es la correcta simulación de los procesos, distribución y magnitud de precipitación y derretimiento nival. Lo anterior es muy relevante porque la definición de precipitación líquida y sólida tiene una gran incidencia en la magnitud de la escorrentía directa, particularmente en las precipitaciones de invierno. Más aún, se ha observado que el cambio climático potencialmente afectaría la frecuencia y distribución de la precipitación sólida, aumentando en el futuro la magnitud de los eventos líquidos en invierno (y, por ende, de las crecidas) y disminuyendo los volúmenes de derretimiento.

La siguiente Figura resume los distintos métodos descritos y sus correspondientes metodologías, variables de entrada, parámetros y variables de salida.

	1 Método Directo	2 Método Indirecto/Regional	3 Método Lluvia-Escorrentía	
Metodología	Estadística de caudales	Estadística de caudales + regionalización	Simulación por evento	Simulación continua
VARIABLES DE ENTRADA	Serie temporal de caudales en punto de interés	Serie temporal de caudales en lugares hidrológicamente similares al punto de interés	Lluvia de diseño (función de registros de precipitación)	Precipitación continua y otras variables meteorológicas
Parámetros	Parámetros modelo estadístico	Parámetros modelo estadístico y regionalización	Parámetros de la cuenca y condiciones iniciales	Parámetros de la cuenca
Resultados	Caudales (Q) v/s periodo de retorno (T)	Q v/s T	Q v/s T en función de T de la precipitación	Series de tiempo de caudales y otras variables (humedad, evapotranspiración)

**Figura 30** Resumen esquemático de métodos utilizados para estimación de crecidas

### **Diseño Hidrológico en condiciones no estacionarias: generalidades**

La literatura internacional actualmente está abordando distintos aspectos relacionados con la estimación de caudales de diseño en condiciones no estacionarias. En particular se han propuesto métodos hidrológicos para estimación de crecidas que son alternativos a los métodos identificados previamente.

En el caso de los métodos directos e indirectos basados en análisis de frecuencia, las modificaciones metodológicas apuntan a la caracterización del periodo de retorno y el riesgo en un contexto no estacionario. De este modo se puede estimar el valor de la crecida de diseño bajo un cierto escenario de no estacionaridad futura, tal que se cumpla una cierta meta de riesgo. Este riesgo se entiende como la probabilidad de que en primeros  $n$  años de operación de una obra no se supere una cierta magnitud. Alternativamente, se puede calcular el periodo de retorno de diseño actual (y por ende el caudal de diseño), de manera que al finalizar la vida útil de la obra, o en algún cierto momento de ésta, se cumpla una meta o periodo retorno crítico. Por lo tanto, en este nuevo contexto, el riesgo no sólo es función del número de años de vida útil, sino del año de referencia a partir del cual se considera esta vida útil. La próxima sección presenta en detalle una metodología de diseño en condiciones de clima no estacionario, junto con la teoría que la fundamenta. Esta teoría requiere considerar lo siguiente para establecer los criterios de diseño en un contexto no estacionario:

- La vida útil esperada de la infraestructura debe ser explícitamente considerada cuando los criterios de diseño son definidos.
- La probabilidad de excedencia de la capacidad, asociada al riesgo definida a partir de los criterios de diseño evoluciona con el tiempo.
- El o los modelos estadísticos que describirán la evolución esperada de la variable no estacionaria debe(n) ser definido(s).

Por otra parte, los métodos lluvia-escorrentía también son modificados o repensados para incorporar la variabilidad climática. En este caso se diferencia la simulación por evento y la simulación continua. En el primer caso, dado que lo que se necesita es una nueva lluvia de diseño que refleje condición climática futura, se propone adoptar la misma estrategia ya definida para los métodos directos e indirectos, pero aplicada a la variable intensidad de

precipitación para una cierta duración (i.e. para generar nuevas curvas IDF). Esto permite generar la nueva tormenta de diseño y aplicarla al modelo lluvia-escorrentía.

En el caso de la modelación continua, surge la necesidad de generar no una nueva tormenta de diseño, sino una serie de precipitaciones representativas de las condiciones futuras. Más aún, si es pertinente simular los procesos de precipitación, acumulación y derretimiento nival, también se hace necesario generar series futuras de temperatura. En ambos casos el procedimiento formal incluye 4 etapas ya discutidas por Demarías et al. (2013):

- Generación de climas futuros (o ensambles de estos) con modelos de circulación global y distintos escenarios de forzamiento radiativo (similar a escenarios de emisiones). El resultado son series de precipitaciones y temperaturas a largas escalas espaciales.
- Desagregación espacial de estas series a la escala de cuenca/área de interés para el diseño.
- Desagregación temporal de estas series y corrección de potenciales sesgos.
- Aplicación del modelo lluvia-escorrentía para generar series continuas de caudales y definición de cuantiles de diseño.

Donde los tres primeros pasos de esta metodología debiesen efectuarse externamente a las competencias de la Dirección de Vialidad y de la DOH (organismos vinculados con puentes, obras fluviales y de drenaje). Además Demarías et al. (2013) mencionan un paso adicional aunque no lo formalizaron como uno más de los anteriores. Este paso consiste en la estimación de caudales instantáneos a partir de los resultados de la modelación lluvia-escorrentía. Esto se hace necesario puesto que la escala temporal de modelación con insumos climáticos (típicamente diaria, o menos fina) no permite capturar los caudales máximos instantáneos. Una alternativa simple es definir una relación lineal entre el caudal máximo diario y el máximo instantáneo con expresiones como la propuesta por McCuen y Beighley (2003) dependiente de la capacidad de almacenamiento de la cuenca, dada por su área y su uso de suelo. No es el objeto de este documento describir en detalle la metodología presentada por Demarías et al. (2013) por lo que se recomienda la consulta de este trabajo para información más específica.

Se debe tener la precaución de simplificar al máximo el tipo de información climática a utilizar en la modelación. Esto implica utilizar un modelo sin un componente nival complejo en caso que este fenómeno no sea relevante dentro de la cuenca en estudio. En este caso se propone utilizar el modelo SWMM (Rossman, 2008) o el Modelo Hec-HMS (USACE, 2013). Por el contrario, se recomienda utilizar modelos más complejos para representar los procesos y ocurrencia nival en cuencas donde esto pueda ser relevante. Para este propósito se puede utilizar también HecHMS, el modelo VIC (Liang et al., 1994), SWAT (Neitsch et al., 2005), etc.

## **Diseño Hidrológico en condiciones no estacionarias: teoría y metodología**

### ***Caracterización del riesgo hidrológico en el diseño***

Los métodos tradicionales para determinar el periodo de retorno  $T$  y el riesgo de ocurrencia de un evento extremos con implicancias en el diseño de una obra suponen dos condiciones claves: (1) régimen estacionario de manera que una única función de densidad de probabilidades describe el comportamiento de una variable, y (2) que la ocurrencia de eventos extremos es independiente o de dependencia despreciable (Leadbetter, 1983).

Sea  $Z$  una variable aleatoria cuya función de probabilidad acumulada está dada por  $F_Z(z, \theta)$ , donde  $\theta$  corresponde a los parámetros de la función. Por ejemplo  $Z$  podría ser el caudal máximo anual. Luego  $p$  es la probabilidad de que  $Z > z_T$ , ( $p = P(Z > z_T)$ ), siendo  $z_T$  el valor de  $Z$  correspondiente a la magnitud de diseño considerando un periodo de retorno  $T = 1/p$ . Dada los supuestos ya definidos, la probabilidad en cada año de superar el valor  $z_T$  es siempre la misma e igual a  $p$ . Finalmente, considérese además que la variable aleatoria  $X$  corresponde al tiempo que debe transcurrir para que por primera vez  $Z$  supere  $z_T$  (i.e. si  $X = x = 4$ , hay 3 años consecutivos en que  $Z \leq z_T$ , y en el 4to año  $Z > z_T$ ). Se puede demostrar lo siguiente (Salas y Obeysekera, 2014):

- La probabilidad de que  $X$  sea igual a un cierto valor  $x$  está dada por:

$$f(x) = P(X = x) = (1 - p)^{x-1}p, \quad x = 1, 2, \dots \quad (1)$$

- El riesgo hidrológico  $R$  o probabilidad de que  $Z$  supere  $z_T$  al menos 1 vez en un periodo de  $n$  años es equivalente a  $R = P(X \leq n)$ . Luego  $R$  y la confiabilidad  $R_\ell = 1 - R$  son respectivamente:

$$R = \sum_{x=1}^n f(x) = p \sum_{x=1}^n (1 - p)^{x-1} = 1 - (1 - p)^n \quad (2)$$

$$R_\ell = (1 - p)^n \quad (3)$$

Para el diseño entonces, se identifica primeramente una confiabilidad esperada de la obra o nivel de riesgo aceptable en función de los potenciales impactos socioeconómicos, políticos y ambientales de una falla. Posteriormente, de la Ec. (2) o (3) se determina el valor de la probabilidad de falla  $p$  (o del periodo de retorno  $T$ ) en función de la vida útil de  $n$ . Finalmente, utilizando una caracterización estadística directa de la variable de diseño, o en su defecto, de las variables de entrada en un modelo lluvia-escorrentía, se determina la crecida de diseño.

(Salas & Obeysekera, 2014) proponen un enfoque simple para trabajar con los conceptos de riesgo  $R$  y periodo de retorno de  $T$  en condiciones no estacionarias, el que se resume a continuación, junto con las principales implicancias en el supuesto de un crecimiento en la frecuencia de eventos extremos.

Sea  $F_Z(z, \theta_t)$  la función de probabilidad acumulada de la variable aleatoria  $Z$  donde  $\theta_t$  corresponde a los parámetros de la función cambiantes en el tiempo dado que  $Z$  no es estacionario. En este caso la probabilidad de superar un valor  $z_T$  en un año  $i$  en particular varía y es igual a  $p_i$ . Generalizando las propiedades de la distribución geométrica para permitir cambios temporales en las probabilidades de excedencia a lo largo del tiempo, es posible calcular la probabilidad de que en el año  $X = x$  se sobrepase por primera vez el valor  $z_T$  mediante una expresión análoga a la ecuación (1).

$$f(x) = P(X = x) = (1 - p_1)(1 - p_2)(1 - p_3) \dots (1 - p_{x-1})p_x = p_x \prod_{t=1}^{x-1} (1 - p_t) \quad (4)$$



donde  $x = 1, 2, \dots, x_{max}$ , siendo  $x_{max}$  el último año en que termina el comportamiento no estacionario, o el año en que la probabilidad  $p_{x_{max}} = 1$ . Notar además que  $f(x=1) = p_1$ . Luego, el riesgo hidrológico  $R$  o probabilidad de que  $Z$  supere  $z_T$  al menos 1 vez en un periodo de  $n$  años es equivalente a  $R = P(X \leq n)$ .

$$R = \sum_{x=1}^n p_x \prod_{t=1}^{x-1} (1 - p_t) = 1 - \prod_{t=1}^n (1 - p_t) \quad (5)$$

Por otra parte, el periodo de retorno en estas condiciones no estacionarias, entendido como el valor esperado de  $X$ , corresponde a:

$$T = E(X) = \sum_{x=1}^{x_{max}} x f(x) \quad (6)$$

$$= \sum_{x=1}^{x_{max}} x p(x) \prod_{t=1}^{x-1} (1 - p_t) = T = E(X) = 1 + \sum_{x=1}^{x_{max}} \prod_{t=1}^x (1 - p_t)$$

Por lo que  $T$  no es función de una probabilidad de excedencia  $p$  constante, sino de  $p_T$  que es variable con el tiempo. Por otra parte, la confiabilidad corresponde a:

$$R_\ell = \prod_{t=1}^n (1 - p_t) \quad (7)$$

Es relevante entender que las expresiones anteriores implican un cambio temporal en las probabilidades de excedencia, de modo que el tiempo promedio que transcurre entre 2 eventos de magnitud similar variará a través del tiempo. Lo anterior implica que el período de retorno asociado a un evento no es constante, sino por el contrario, instantáneo y continuamente variable en el tiempo. De este modo, hay un instante de tiempo que debe servir de referencia para el análisis y diseño.

El diseño hidrológico en un contexto no estacionario responde entonces a una pregunta distinta propia del régimen estacionario. En este último caso la pregunta de diseño es “¿Cuál es la magnitud de una variable que, en promedio se iguala o supera 1 vez cada  $T$  años?”. Por el contrario, en el caso no estacionario la pregunta de diseño difiere, pues pasa a ser “¿Cuál es la magnitud de la variable que, se espera, no será excedida en los próximos  $T$  años, a partir de ahora? Alternativamente el diseño puede entenderse como el cálculo de la magnitud de la variable aleatoria de periodo de retorno  $T_o$  en el instante actual  $t_o$ , tal que en un instante futuro  $t_c$  el periodo de retorno asociado sea  $T_c$ , el que corresponde a un periodo de retorno crítico entendido como una meta de diseño (Mailhot & Duchesne, 2010). Por ejemplo, si se quiere diseñar hoy una obra que en 50 años más esté preparada para una crecida que, en ese momento, tenga un periodo de retorno de 100 años, entonces el problema de diseño consiste en calcular cual es el periodo de retorno para el diseño el día de hoy, el cual superará  $T = 100$  en un contexto de tendencia creciente de esta variable aleatoria.

### **Metodología para el diseño bajo condiciones de no estacionaridad con tendencia creciente**

A continuación se presenta una metodología para el diseño hidrológico en un contexto de eventos extremos con tendencia creciente. Para más detalles, se recomienda consultar las referencias originales ((Mailhot & Duchesne, 2010); (Salas & Obeyesekera, 2014)). Para efectos de simplicidad, y dado su amplio uso en el diseño para eventos extremos, se utilizará la función

de distribución de valores extremos generalizados (GEV). Sin embargo, es posible utilizar funciones densidad de probabilidad alternativas.

La distribución GEV de una variable aleatoria  $Z$  está dada por:

$$F(z, \underline{\theta}_t) = \exp \left\{ - \left[ 1 + \varepsilon \left( \frac{z - \mu_t}{\sigma_t} \right) \right]^{-1/\varepsilon} \right\} \quad (8)$$

donde  $\underline{\theta}_t = \{\mu_t, \sigma_t, \varepsilon\}$  corresponde al set de parámetros, siendo  $\mu_t$  el parámetro de ubicación dependiente del tiempo,  $\sigma_t$  el parámetro de escala también dependiente del tiempo, y  $\varepsilon$  el parámetro de forma. Cuando  $\varepsilon \rightarrow 0$  la expresión 8 se transforma en la función de distribución Gumbel, ampliamente utilizada en diseño hidrológico:

$$F(z, \underline{\theta}_t) = \exp \left[ - \exp \left( - \frac{z - \mu_t}{\sigma_t} \right) \right] \quad (9)$$

La variación en el tiempo de los parámetros  $\mu_t$  y  $\sigma_t$  permiten introducir entonces variabilidad tanto en la media como en la varianza. Por ejemplo, asumir un cambio en el parámetro  $\mu_t$  y un valor constante del parámetro  $\sigma_t$  implica un cambio lineal en la tendencia o media de la serie hidrometeorológica, pero no en su variabilidad.

$$\mu_t = \mu_o + b(t - t_o) \quad (10)$$

donde  $\mu_o$  es la media de la serie en  $t_o$ , el inicio del periodo donde se considera ocurre la tendencia lineal. Esta forma de representar la evolución temporal de una variable es la más simple, y es la típicamente utilizada para describir situaciones de cambio climático, dado que se hace muy difícil estimar los cambios futuros en la variabilidad de las series hidrometeorológicas. Por lo tanto consideramos este caso en la continuación de este desarrollo.

Utilizando las expresiones 8 y 10, se puede calcular la función de probabilidad acumulada para el cuantil  $z$  en cualquier tiempo  $t$  en función de la función de probabilidad acumulada al tiempo  $t_o$ ,  $F_o$ , el que está dado por:

$$\begin{aligned} F_t &= \exp \left\{ - \left[ 1 + \varepsilon \left( \frac{z_0 - (\mu_o + b(t - t_o))}{\sigma_t} \right) \right]^{-1/\varepsilon} \right\} \\ &= \exp \left\{ - \left[ (-\ln F_o)^{-\varepsilon} - \frac{\varepsilon}{\sigma_t} b(t - t_o) \right]^{-1/\varepsilon} \right\} \end{aligned} \quad (11)(9)$$

Esta expresión se simplifica a la siguiente en el caso de la distribución Gumbel

$$\begin{aligned} F_t &= \exp \left[ - \exp \left( - \frac{z_0 - (\mu_o + b(t - t_o))}{\sigma_t} \right) \right] \\ &= \exp \left\{ \exp \left[ \frac{b(t - t_o)}{\sigma_t} \right] \ln F_o \right\} \end{aligned} \quad (12)$$

$z_0$  en las expresiones anteriores es el cuantil en  $t = t_o$ .

Como se mencionó anteriormente, en el diseño bajo no estacionaridad se debe especificar la vida útil de la obra  $n$ . Luego,  $t_d = t_o + n$  corresponde al año en el que se alcanza la vida útil. Adicionalmente, se debe identificar un año de referencia  $t_c$  dentro de la vida útil, al cual se le asocia un periodo de retorno  $T_c$  y, por ende una probabilidad acumulada  $F_c$ . Con esta definición se puede derivar la siguiente expresión para  $F_o$ , la probabilidad acumulada en  $t_o$

$$F_o = \exp \left\{ - \left[ -(\ln F_c)^{-\varepsilon} + \frac{\varepsilon b}{\sigma_t} (t_c - t_o) \right]^{-1/\varepsilon} \right\} \quad (19)$$

$$F_o = \exp \left\{ \exp \left[ -\frac{b}{\sigma_t} (t_c - t_o) \right] \ln F_c \right\} \quad (19)$$

Esta probabilidad  $F_o$  es utilizada para estimar el cuantil o magnitud de diseño  $x_o (F_o)$ , lo que se puede hacer mediante un análisis estadístico de los registros hidrometeorológicos. Además, como se considera una tendencia positiva en la variable aleatoria, se espera que el periodo de retorno asociado a un valor de ésta decrezca con el tiempo, de manera que:

$$T > T_c, t_o < t < t_c \quad (19)$$

$$T > T_c, \quad t_c < t < t_d \quad (19)$$

Lo anterior implica que la probabilidad de no exceder el cuantil  $x_o$  es mayor que  $F_c = 1 - 1/T_c$  para  $t < t_c$ , mientras que es menor a  $F_c$  para el caso que  $t_c < t < t_d$ . Por lo tanto  $T_o = 1/(1 - F_o)$  corresponde al periodo de retorno a ser usado en el diseño para mantener la probabilidad anual de exceder la capacidad teórica bajo  $1 - F_c$  durante el periodo que transcurre desde  $t_o$  a  $t_c$ . En otras palabras, la probabilidad de exceder la capacidad de diseño durante el periodo  $t_o \leq t \leq t_c$  será menor que el valor de diseño, mientras que para el periodo  $t_c \leq t \leq t_d$  será mayor. A modo de ejemplo, si la vida útil de una obra fuera 90 años y se quisiera que en los primeros 70 años su diseño permita el correcto funcionamiento con la crecida de 100 años de periodo de retorno, luego  $T_c = 100$ ,  $t_c = 70$  y  $t_d = 90$ . Si se decidiera que la capacidad de diseño no se puede exceder en toda la vida útil de la obra (i.e.  $t_c = t_d$ ), entonces la obra estará sobredimensionada durante todo este periodo, con excepción del último año.

### **Metodología simplificada para el diseño bajo condiciones de no estacionaridad con tendencia creciente**

A continuación se presenta un método simplificado propuesto por (Mailhot & Duchesne, 2010) basado en el supuesto de una relación lineal decreciente entre el periodo de retorno asociado al valor de una variable  $T(t)$  y el tiempo  $t$ , dada por:

$$T(t) = T_o - \eta t \quad (19)$$

Donde  $T_o$  es periodo de retorno al año de instalación  $t = 0$ . Además, se puede expresar el periodo de retorno al final de un periodo de 100 años en función de  $T_o$  como:

$$(t = 100 \text{ años}) = \rho T_o \quad (19)$$

Finalmente se puede definir el año de referencia  $t_c$ , el que se puede expresar como una porción de la vida útil  $t_d$ , tal que  $t_c = \beta t_d$ . De esta manera, combinando las expresiones 17 y 18 junto con esta definición, se obtiene una expresión simple para el periodo de retorno a considerar en el diseño en función de  $T_c$ , el periodo de retorno crítico a satisfacer en  $t = t_c$

$$T_0 = T_c \left[ 1 - \frac{(1 - \rho)\beta t_d}{100} \right]^{-1} \quad (19)$$

Por ejemplo, si se espera que el periodo de retorno de un cierto evento se reduzca a la mitad en los próximos 100 años ( $\rho = 0,5$ ), y que el año de referencia sea la mitad de la vida útil de la obra ( $\beta = 0,5$ ), la ecuación anterior se reduce a:

$$T_0 = \frac{T_c}{[1 - 0.0025t_d]} \quad (20)$$

Esta última expresión muestra que mientras mayor sea la vida útil de una obra, más disímiles son  $T_c$  y  $T_0$ . Finalmente, esta versión simplificada de diseño ilustra lo clave que es definir el año de referencia, las expectativas de servicio esperadas para ese año, la vida útil de la obra y la evolución esperada del comportamiento de la variable de diseño. Esto último no es siempre claro, por lo que surge la necesidad de considerar distintos escenarios en la evaluación y diseño.

A modo de ejemplo, se propone utilizar la ecuación 20 para estimar el periodo de retorno de diseño en condiciones actuales  $T_0$  de un puente cuya vida útil de  $t_d = 100$  años, cumplidas los supuestos establecidos para derivar esta ecuación, con  $T_c = 100$  años. En este caso  $T_0 = 114$  años. Por otra parte, si se considera que el año de referencia coincide con el año en que se cumple la vida útil, luego  $\beta = 1$  en la ecuación 19, y  $T_0 = 200$  años.

#### **Aspectos institucionales para implementación de cambios metodológicos:**

Para levantar las capacidades iniciales de diseño bajo condiciones de cambio climático de infraestructura fluvial, de drenaje y puentes, se propone un proceso de formación de capital humano y desarrollo de herramientas técnicas. Lo anterior implica (1) formalización de metodologías de modelamiento (estadístico y de base física) y diseño a partir de lo presentado previamente, (2) preparación de guías metodológicas y ejemplos pilotos para la masificación y difusión de estas prácticas, y (3) capacitación de un equipo humano inicial capaz de formar a otros y de participar activamente como contraparte técnica en futuros proyectos que incluyan cambio climático. Se estima que este equipo humano debe estar conformado inicialmente en el MOP por 8 expertos a nivel central y 2 expertos por región.

**RESPONSABLE:** MOP (DOH + Dirección de Vialidad)

#### **COSTOS:**

- **Software de dominio público: SWMM, HEC-HMS, VIC, SWAT u otro.** Costo cero para adquisición. Sin embargo se detecta la necesidad de cambiar protocolos institucionales para la descarga e instalación de estas herramientas en computadores institucionales. SWAT además requiere de alguna herramienta SIG que puede ser de dominio público,

aunque la mejor versión del modelo está desarrollada para aplicación con ArcGIS de ESRI. Finalmente VIC requiere Linux o la emulación de éste

- **Levantamiento de capacidades al interior del MOP abocado a cubrir los pasos 1, 2, y 3:**  
Costo aproximado \$80.000.000.

## ***MEDIDA 11. Incorporación de cambios metodológicos en la etapa de desarrollo de obras de infraestructura en zonas costeras***

### ***a) Generación de una Base de Datos de Climas de Oleaje Estandarizada para el Establecimiento de Solicitaciones para el Diseño de Obras Costeras***

#### **DESCRIPCIÓN**

De acuerdo al diagnóstico realizado, se haría necesario generar información de climas de oleaje en aguas profundas que pudiera estar disponible para uso de instituciones públicas, organismos de investigación y consultores. Ya en el caso del Estudio anterior "Marco estratégico para la adaptación de la infraestructura al cambio climático" (2013), se hacen recomendaciones que implican el análisis de la frecuencia de tormentas y marejadas. En el estudio ya se hizo referencia a la importancia de los cambios en el oleaje (alturas de ola, dirección y período), junto a la sobre elevación del nivel del mar debido a cambios en la trayectoria e intensidad de las borrascas, o cambios en la intensidad y dirección del viento. La escala espacial se vuelve de especial relevancia para el oleaje, en donde las condiciones van variando al acercarse a la costa y la disminución de la profundidad del fondo, lo que se asocia a la necesidad de disponer con datos y análisis de condiciones locales ("Marco estratégico", 2013:79).

La generación de esta información requiere establecer bases de datos modelados de oleaje de *hindcasting* a lo largo de la costa de Chile sobre extensiones de tiempo mayores a los exigidos por las actuales normativas. Se considera que la menos la puesta a disposición de 50 años de datos históricos de oleaje, debiera permitir realizar análisis estadísticos adecuados respecto de tendencias y eventos extremos a considerar en el diseño de obras de infraestructura. Es necesario sin embargo, decidir acerca de la posibilidad de generar capacidades dentro de los organismos públicos para generar esta información (contratación de personal idóneo, convenios o alianzas con Universidades o Centros Internacionales), o contratar por una vez el desarrollo y validación de series de tiempo de oleaje a considerar.

Adicionalmente, sería de interés el desarrollar bases de datos de climas de oleaje futuro, considerando la incertidumbre climática y sus implicancias en las variables oceanográficas, para evaluar los diseños de obras, su nivel de servicio y/o alternativas de adaptación a lo largo de su vida útil.

En la actualidad existe una base de datos modelados histórica que puede ser obtenida desde el programa Olas Chile con información de más de 20 años (1983-2006). También existen otras empresas que pueden proveer información similar para fines del establecimiento de solicitudes de diseño. Sin embargo, este tipo de información debe comprarse para cada proyecto, no pudiendo ser utilizado para otros fines, ni está disponible en forma abierta. En la estimación de costos presentada aquí se considera el establecimiento de un equipo de investigación que pudiera estar albergado en el SHOA o Servicio Meteorológico de la Armada, que estaría encargado de generar bases de datos estandarizadas para fines de diseño, actualizar dicha información y proveer registros de climas de oleaje futuros basados en información climática global disponible desde otras fuentes (e.g. IPCC). Este equipo también tendría las capacidades de generar pronósticos de oleaje rutinarios para puertos con fines operativos y para seguridad del público general. A continuación se realiza una estimación de costos, los que consideran una inversión

inicial en un clúster computacional exclusivo para las modelaciones, un investigador con grado de Doctor, un oceanógrafo o ingeniero, y un técnico programador o administrador el clúster.

**RESPONSABLE:**SHOA o Dirección Meteorológica de la Armada

**COSTOS:**

- Inversión inicial en un clúster computacional para la realización de las modelaciones: USD 60.000
- Honorarios anuales de un investigador con grado de Doctor: USD 105.000
- Honorarios anuales de un oceanógrafo o ingeniero con experiencia en modelación y análisis de datos: USD 50.000
- Honorarios anuales de un técnico programador y administrador de Clúster: USD 25.000

De esta manera, se estima que la inversión inicial necesaria para proveer al SHOA o el Servicio Meteorológico de la Armada de equipamiento adecuado para realizar el modelamiento regional de climas de oleaje se eleva a USD 60.000, el que debería ser complementado por la conformación de un equipo de profesionales investigadores permanentes a un costo anual aproximado de USD 180.000.

***b) Revisión y Actualización de Normativas Vigentes y Metodologías de Análisis Estadísticos de Series de Tiempo***

**DESCRIPCIÓN**

La revisión y actualización de normativas vigentes relativas al análisis estadístico de series de tiempo, debiera ser realizado en forma conjunta entre distintas direcciones del Ministerio de Obras Públicas. En efecto, este es un requerimiento transversal común para el análisis de las distintas amenazas consideradas en este estudio. Existen diversas técnicas y avances metodológicos que podrían ser evaluados y establecidos desde una base común para la definición de las solicitudes a considerar en el diseño de obras de infraestructura. La aplicación de estas metodologías en el caso de infraestructura portuaria, requiere como condición previa la puesta a disposición de información más completa respecto de series de tiempo condiciones históricas de forzantes oceanográficas. En este sentido, la evaluación realizada aquí sólo se justificaría en el caso en que existiera un equipo dedicado a generar y validar la información asociada a oleaje que podría ser utilizada para fines de mejorar el proceso de definición de las variables solicitantes.

Se asume que el análisis de datos y los estudios asociados continuarían bajo la responsabilidad de empresas consultoras o contratistas, pero sería necesario desarrollar mesas de trabajo o estudios tendientes a establecer las metodologías más adecuadas para actualizar las normativas, además de una capacitación de profesionales de la DOP para evaluar los estudios realizados por terceros.

La estimación de costos asociados a esta medida, considera el establecimiento de una mesa de trabajo con un coordinador y relator durante un año, la participación ad-honorem de expertos nacionales, la contratación de al menos un consultor internacional para la revisión de las propuestas, además de un programa de capacitación para profesionales de la DOP, todo esto en una ventana de tiempo de 18 meses.

**RESPONSABLE:** DOP, Universidades

**COSTOS:**

- Honorarios de un coordinador y relator de la mesa de trabajo: USD 16.000
- Organización de reuniones y talleres de trabajo: USD 6.000
- Contratación de un consultor internacional: USD 10.000
- Programa de capacitación para la DOP: USD 20.000

En resumen, el costo estimado para llevar adelante un esfuerzo de actualización de normativa y requerimientos de diseño de obras costeras en 18 meses es del orden USD de 52.000.



## F. Fichas Resumen de las medidas de Adaptación

A continuación se presenta el resumen de la descripción de las medidas propuestas anteriormente, estas se desglosan según las líneas de acción identificadas.

### Línea de acción 1: Coordinación Intra e Interministerial

#### Medida 1. Coordinación Intraministerial MOP

Línea de acción 1: Coordinación intra e interministerial		
Medida 1	Unidad Responsable	Costo Total (\$)
Coordinación intraministerial - Ministerio de Obras Públicas	SEMAT	Sin costo pecuniario
Descripción Medida		
Se propone la creación de un comité interinstitucional (al interior del MOP) liderado por SEMAT que sirva para coordinar la implementación del Plan de Adaptación de los servicios de infraestructura al cambio climático.		

#### Medida 2. Coordinación con Plan Nacional de Adaptación y Planes Sectoriales de Adaptación

Línea de acción 1: Coordinación intra e interministerial		
Medida 2	Unidad Responsable	Costo Total (\$)
Coordinación con Plan Nacional de Adaptación y Planes Sectoriales de Adaptación	MMA	Sin costo pecuniario
Descripción Medida		
Se identifican tres posibles interacciones con los procesos de adaptación que se desarrollen en otros sectores y niveles de implementación: Necesidades de servicios de infraestructura que surjan de planes de adaptación sectorial. Medidas de adaptación complementarias que pueden generarse en otros planes de Adaptación sectorial. Generación y traspaso de información climática necesaria para el análisis de amenazas y oportunidades futuras.		

**Medida 3. Inclusión del cambio climático en Plataforma Nacional de reducción del riesgo de desastre (RRD) que coordina ONEMI**

Línea de acción 1: Coordinación interministerial		
Medida 3	Unidad Responsable	Costo Total (\$)
Inclusión del cambio climático en Plataforma Nacional de reducción del riesgo de desastre (RRD) que coordina ONEMI	MMA y la Unidad de Emergencias y Prevención del Ministerio de Obras Públicas	Sin costo pecuniario
Descripción Medida		
<p>Existe relación entre desastres y el cambio climático como un modulador de la amenaza que ocasiona el desastre. En este sentido se reconocen dos medidas de adaptación desde la Plataforma Nacional de reducción del riesgo de desastre (RRD) que coordina la ONEMI: Generación de información en amenazas producto del cambio climático que contribuya a riesgos potenciales futuros y también a la generación de medidas de adaptación que surgen de la práctica de RRD.</p> <p>Homologación de conceptos entre los procesos de RRD y de adaptación al cambio climático, actualmente en diferencia por definiciones de riesgo entre la ONEMI y el marco conceptual del IPCC.</p>		

## Línea de Acción 2: Mejoras en Monitoreo de Amenazas

### Medida 4. Mejoras en Monitoreo en Disponibilidad de Recursos Hídricos

Línea de acción 2: Mejoras en monitoreo de amenazas		
Medida 4	Unidad Responsable	Costo Total (\$M)
Mejoras en monitoreo en disponibilidad de agua y su relación con el consumo.	DGA	\$1550 Millones en Infraestructura de monitoreo. \$60 Millones en Estudios.
Descripción Medida		
<p>Se propone mejorar la Red de monitoreo de estaciones meteorológicas de la DGA, dando un especial énfasis en el monitoreo de Glaciares y nieve para mejorar el conocimiento de la disponibilidad hídrica. Además se propone realizar una jerarquización de cuencas de monitoreo en base a los siguientes criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Cuencas en donde existan regímenes nivales que pasan a ser pluviales</li><li>• Cuencas que cuenten con una importante componente nival y glaciar, y que por lo tanto tengan una importancia desde el punto de vista de acumulación de agua</li><li>• Cuencas que se encuentren en zonas de frontera agrícola, es decir, zonas hacia las cuales la agricultura está avanzando y no cuentan con la infraestructura necesaria</li><li>• Cuencas que cuenten con bajo nivel de infraestructura para satisfacer demandas de servicios futuras.</li></ul> <p>Finalmente se propone realizar estudios que ayuden a determinar zonas con sensibilidad a la sequía que necesiten intervención para satisfacer la demanda de servicios de infraestructura de recursos hídricos.</p>		

### Medida 5. Mejoras en Monitoreo de Exceso de Agua

Línea de acción 2: Mejoras en monitoreo de amenazas		
Medida 5	Unidad Responsable	Costo Total (\$M y USD M)
Mejoras en monitoreo en exceso de agua	DOH, DGA	\$60 M <sup>32</sup> USD 8 M <sup>33</sup>
Descripción Medida		
<p>Se identifica una medida de monitoreo fluviométrica. Mejoras en la red de monitoreo de caudales: USD 8 M.</p> <p>El monitoreo y registro continuo de caudales se hace extremadamente relevante, puesto que: (1) se genera una mayor data de valores, extendiéndose registros de invaluable valor para el diseño, (2) se puede detectar tendencias o cambios en el comportamiento o régimen de los ríos, (3) se genera información de relevancia capital para la construcción y validación de modelos de gran utilidad para el diseño de obras fluviales y de drenaje, puentes. Dado que el caudal es una variable física relacionada específicamente con la cuenca aportante, la extrapolación a otras cuencas se hace más complicado que para el caso de la precipitación y temperatura.</p> <p>La medida apunta fundamentalmente a i) Mejoramiento y actualización de la red actual de monitoreo fluviométrico<sup>34</sup>; ii) Densificación de la red (priorizando sub sub cuencas con punto de salida sobre los 500 msnm).</p>		

<sup>32</sup>Costo corresponde al primer punto tratado en la ficha descriptiva de la Medida 5: “Mejoras en la red de monitoreo de temperatura y precipitaciones”.

<sup>33</sup>Costo corresponde al segundo punto tratado en la ficha descriptiva para la Medida 5: “Mejoras en la red de monitoreo de caudales”.

<sup>34</sup>Para concepto de la mejora de red fluviométrica a nivel nacional se recomienda consultar en detalle lo propuesto en el estudio MOP-DGA (2014), el cual estima en USD 8 M (al 2006) la inversión necesaria para actualizar la red de monitoreo fluviométrico.

### Medida 6. Mejoras en Monitoreo de Amenazas Costeras

Línea de acción 2: Mejoras en monitoreo de amenazas		
Medida 6	Unidad Responsable	Costo Total (USD)
Mejoras en monitoreo de amenazas costeras	SHOA, SEP, Puertos del Estado, DOP, DIRECTEMAR	USD 840.000
Descripción Medida		
<p>Red de Observación de Climas de Oleaje en Aguas Profundas: USD 380.000<sup>35</sup> En la etapa inicial, se recomienda instalar y operar 5 boyas para proveer mediciones de oleaje entre Arica y Punta Arenas.</p> <p>Red de Observación de Condiciones de Oleaje en Puertos del Estado: USD 460.000<sup>36</sup> En este ítem, se considera un sistema similar al actualmente en operación en el Puerto de San Antonio, que incluye un equipo ADCP fondeado en las cercanías del puerto, y un sistema de transmisión y explotación de datos. Se considera la expansión de este modelo al sistema de Puertos del Estado bajo la tutela del SEP, es decir 4 puertos en la zona norte (Arica, Iquique, Antofagasta, Coquimbo), 2 en la zona centro (Valparaíso y San Antonio), y 4 en la zona sur (Talcahuano, Puerto Montt, Chacabuco y Punta Arenas).</p>		

<sup>35</sup> Costo estimado considera inversión requerida para establecer la red de oleaje propuesta, el desarrollo de una interfaz web de explotación de datos en línea, sumando costos de operación incluyendo horas hombre requeridas para operación anual del sistema.

<sup>36</sup> Costo estimado considera inversión requerida para iniciar la operación, sumado a costos de operación y mantenimiento de los equipos.

**Línea de Acción 3: Mejoras en monitoreo vulnerabilidad de servicios de infraestructura existentes**

**Medida 7. Mejoras en monitoreo vulnerabilidad de servicios de infraestructura existentes**

Línea de Acción 3: Mejoras en monitoreo vulnerabilidad de servicios de infraestructura existentes		
Medida 7	Unidad Responsable	Costo Total (\$M y USD)
Mejoras en monitoreo vulnerabilidad de servicios de infraestructura existentes	DGA, MOP (DOH+DV), DIRECTEMAR, SHOA	a) b) \$45 Millones <sup>37</sup> c) y d) USD 212.000
Descripción Medida		
<p>a) Monitoreo del servicio de provisión de agua</p> <p>b) Revisión periódica de obras fluviales, de drenaje y viales (puente) (Catastro de estado de operación de obras hidráulicas de drenaje, obra fluvial o puente). Se hace relevante el continuo monitoreo del funcionamiento de las metodologías de modelamiento y diseño de esta infraestructura dada la incertidumbre asociada a la variabilidad y cambio climático. En el caso concreto de la infraestructura vial, fluvial y de drenaje, es necesario un procedimiento continuo de revisión de estrategias y supuestos de modelamientos como también de métodos de diseño, teniendo en cuenta el funcionamiento y desempeño observado en terreno. Este proceso permite validar o modificar procedimientos de manera asegurar mejores diseños al corto plazo. Se propone catastral anualmente y de forma acabada, al menos una obra fluvial, una obra de drenaje y un puente por cuenca. Luego, se propone expandir la cobertura de este monitoreo a nivel de subcuenca, partiendo por aquellas ubicadas en la zona centro sur (IV – X regiones). Finalmente, y en función de la información levantada cuando el monitoreo periódico esté implementado, se propone realizar una revisión cada 5 años de las metodologías, criterios, supuestos y herramientas de modelación y diseño hidrológico/hidráulico. Se adjunta una propuesta de ficha de catastro para registro de eventos de crecidas, en la sección de la Medida 7.b, en donde se exponen los elementos básicos a considerar para el registro y caracterización de dichos eventos.</p> <p>c) Monitoreo del Borde Costero y d) Incorporación de un Monitoreo Semi-continuo del Impacto de Obras de Infraestructura</p> <p>Distintos sistemas para monitorear el estado de los servicios de infraestructura Monitoreo del Borde Costero (USD 142.000) e Incorporación de un Monitoreo Semi-continuo del Impacto de Obras de Infraestructura (USD 70.000): USD 212.000<sup>38</sup> Para mejorar el diagnóstico y seguimiento del potencial impacto de las condiciones de oleaje</p>		

<sup>37</sup> Costo considera Estudio técnico de revisión de estrategias de modelamiento y criterios de diseño cada 5 años. Se desconoce el costo que significaría la ejecución de catastros anuales de obras de infraestructura pero se incluye para tener en cuenta dentro de la propuesta de medida.

<sup>38</sup> Incluye costos de inversión asociados a equipos, instalación y desarrollo de software, para la implementación de 10 sitios del país, sumando costos anuales asociados a operación del sistema, transmisión de datos y horas hombre requeridas.

sobre el borde costero, se propone propiciar la instalación de una red de observación basada en imágenes de video instaladas en las principales playas del país con el objeto de caracterizar su evolución en el tiempo y favorecer una gestión más eficiente del litoral. Seguimiento de los impactos de obras de infraestructura costera encargadas por la DOP. Una propuesta sería incluir esto en las bases de licitación para la implementación de planes de monitoreo

**Línea de Acción 4: Introducción de cambios metodológicos para la evaluación de impactos del cambio climático y medidas de adaptación en obras de infraestructura**

**Medida 8. Incorporación de cambios metodológicos en la evaluación económica de obras de infraestructura con perspectivas de largo plazo**

Línea de acción 4: Introducción de cambios metodológicos		
Medida 8	Unidad Responsable	Costo Total (\$M)
Realizar estudio de metodologías de evaluación de proyectos de inversión que permitan incorporar el cambio climático (CC) en el ciclo de vida de los proyectos de infraestructura pública	Departamento de Metodologías, División de Evaluación Social de Inversiones, MDS y DIRPLAN del MOP	Al menos \$30 millones <sup>39</sup>
Descripción Medida		
Incorporación de 2 elementos clave en el proceso de evaluación: 1) revisión de metodologías de evaluación de proyectos de inversión para incorporar el CC, en el ciclo de vida; y 2) Implementar tasas de descuento decrecientes en la evaluación social de proyectos de largo plazo		

**Medida 9. Incorporación de cambios metodológicos en las etapas de desarrollo de obras de infraestructura asociadas a la provisión de recursos hídricos**

Línea de acción 4: Introducción de cambios metodológicos		
Medida 9	Unidad Responsable	Costo Total (\$M)
Incorporación de cambios metodológicos en la etapa de planificación de servicios de infraestructura	CNR, DIRPLAN	\$25 Millones en la realización de estudio.
Incorporación de cambios metodológicos en la etapa de evaluación de embalses	DOH	\$105 Millones por cuenca.
Descripción Medida		
Se establecen los criterios para hacer análisis de sensibilidad respecto a la necesidad de nuevas obras de infraestructura producto de los cambios en la oferta y demanda de agua. También en esta medida se recomienda el análisis en casos específicos de los costos y beneficios de obras usando herramientas que permitan analizar con mayor detalle los impactos hidrológicos y agronómicos del cambio climático.		

<sup>39</sup>Costos consideran estudios con información disponible para una cuenca o una zona geográfica



**Medida 10. Incorporación de cambios metodológicos en la etapa de desarrollo de obras de infraestructura asociadas a conectividad y de protección que se pueden ver afectados por eventos extremos de origen hidrometeorológico**

Línea de acción 4: Introducción de cambios metodológicos		
Medida 10	Unidad Responsable	Costo Total (\$M)
Incorporación de cambios metodológicos en la etapa de planificación de servicios de infraestructura	DIRPLAN, GORES, DOH y DV	\$60 Millones en la realización de estudios.
Descripción Medida		
<p>Se establecen los criterios para hacer cálculos balances hídricos tomando como rango de evaluación 30 años de la estadística observada más 30 años de datos proyectados bajo el nuevo escenario de cambio climático. Para lo anterior es necesario ocupar modelos hidrológicos y agronómicos que permitan ver el cambio de uso de suelo proyectado, la variabilidad en las precipitaciones y los cambios en la relación oferta-demanda del servicio de infraestructura de recursos hídricos. También en esta medida se recomienda realizar algunos estudios que permitan modelar el comportamiento hidrológico futuro de las cuencas que se encuentran en la frontera agrícola y analizar si podrán cumplir con el servicio de infraestructura requerido.</p>		

**Medida 11. Incorporación de cambios metodológicos en la etapa de desarrollo de obras de infraestructura en zonas costeras**

Línea de acción 4: Introducción de cambios metodológicos		
Medida 11	Unidad Responsable	Costo Total (USD)
Incorporación de cambios metodológicos en la etapa de desarrollo de obras de infraestructura en zonas costeras	DOP (MOP), Universidades	USD 232.000 <sup>40</sup>
Descripción Medida		
<p>Revisión y actualización de normativas vigentes y metodologías de análisis estadísticos de series de tiempo</p> <p>La revisión y actualización de normativas vigentes relativas al análisis estadístico de series de tiempo, debiera ser realizado en forma conjunta entre distintas direcciones del Ministerio de Obras Públicas. En efecto, este es un requerimiento transversal común para el análisis de las distintas amenazas consideradas en este estudio. Existen diversas técnicas y avances metodológicos que podrían ser evaluados y establecidos desde una base común para la definición de las solicitaciones a considerar en el diseño de obras de infraestructura. La aplicación de estas metodologías en el caso de infraestructura portuaria, requiere como condición previa la puesta a disposición de información más completa respecto de series de tiempo condiciones históricas de forzantes oceanográficas. En este sentido, la evaluación realizada aquí sólo se justificaría en el caso en que existiera un equipo dedicado a generar y validar la información asociada a oleaje que podría ser utilizada para fines de mejorar el proceso de definición de las variables solicitantes.</p> <p>Generación de una Base de Datos de Climas de Oleaje Estandarizada para el Establecimiento de Solicitaciones para el Diseño de Obras Costeras: USD180.000<sup>41</sup></p> <p>De acuerdo al diagnóstico realizado, se haría necesario generar información de climas de oleaje en aguas profundas que pudiera estar disponible para uso de instituciones públicas, organismos de investigación y consultores.</p>		

<sup>40</sup>Corresponde a costos asociados a Medida 11: “Revisión y actualización de normativas vigentes y metodologías de análisis estadísticos de series de tiempo”, considera actualización de normativa y requerimientos de diseño de obras costeras en un estudio de 18 meses. Incluye costo de Generación de una Base de Datos de Climas de Oleaje Estandarizada para el Establecimiento de Solicitaciones para el Diseño de Obras Costeras.

<sup>41</sup> Incluye: inversión inicial en clúster computacional, honorarios anuales de investigadores y técnico programador y administrador del clúster.

## **G. Análisis jerárquico para la priorización temporal en la implementación de medidas de adaptación**

Se propone un programa de ejecución de las líneas de acción y medidas de adaptación que reconoce tres etapas temporales: una primera etapa que puede transcurrir en los próximos 2 años, una segunda etapa a un horizonte de 5 años y una etapa ya en régimen. Se reconoce en este programa también las relaciones que existen entre las distintas medidas y los resultados que se esperan finalmente de ellas.

Linea de Accion	Medida de Adaptacion			Resultado esperado
	Etapa temprana: 1-2 años	Etapa intermedia: 5 años	Etapa final: en regimen	
L1: Coordinación intra-interministerial	M1: Coordinación con planes de adaptación			GENERACION INFORMACION PARA L4
	Todas las etapas: Coordinacion			
	Etapa 1: Generacion y traspaso de informacion climatica	Etapa 2 y 3: Medidas de adaptacion complementarias		
	M2 : Inclusion del cambio climatico en Plataforma Nacional (RRD)			
	Etapa 1: Homologacion de conceptos	Etapa 2 y 3: Generacion de informacion sobre amenazas		
L2 : Mejoras en monitoreo de amenazas	M3: Mejoras en monitoreo en disponibilidad hidrica			GENERACION INFORMACION PARA L3 Y L4
	Etapa 1: Analisis de priorizacion y diseño red ideal	Etapa 2: Inclusion primeras estaciones	Etapa3: Implementacion red de monitoreo ideal	
	M4: Mejoras en monitoreo de caudales extremos.			
	Etapa 1: Analisis de priorizacion y diseño red ideal	Etapa 2: Inclusion primeras estaciones	Etapa3: Implementacion red de monitoreo ideal	
	M5: Mejoras en monitoreo de amenazas costeras			
	Etapa 1: Analisis de priorizacion y diseño red ideal	Etapa 2: Establecimiento primeros instrumentos red de observacion en puertos y aguas profundas.	Etapa3: Implementacion mejoras metodologicas	
L3: Mejoras en monitoreo vulnerabilidad	M6: Mejoras en Monitoreo Vulnerabilidad Servicios Infraestructura			NUEVAS OBRAS Y CAMBIOS EN OBRAS EXISTENTES E INFORMACION PARA L4
	Etapa 1, 2 y 3: Implementacion de mejoras en sistemas de monitoreo de vulnerabilidad de servicios de infraestructura existentes			
L4: Introduccion de cambios metodológicos para la evaluacion de impactos del cambio climático y medidas de adaptación en obras de infraestructura	M7: Incorporacion de cambios metodologicos en la evaluacion economica de obras de infraestructura de largo plazo			BASES METODOLOGICAS PARA MEDIDAS 8, 9 Y 10
	Etapa 1: Actualizar criterios de evaluacion de proyectos por parte del MDS	Etapa 2 y 3: Hacer seguimiento a proceso de evaluacion de obras de infraestructura con criterios de cambio climatico		
	M8: Incorporación de cambios metodológicos en las etapas de desarrollo de obras de infraestructura asociadas a la provisión de recursos hídricos			NUEVAS METODOLOGIAS, NUEVAS OBRAS Y CAMBIOS EN DISEÑO
	Etapa 1: Esperar input estudios MDS	Etapa 2: Desarrollo mejoras metodologicas	Etapa3: Implementacion nuevas metodologias	
	M9: Incorporación de cambios metodológicos en la etapa de desarrollo de obras de infraestructura asociadas a conectividad y de protección que se pueden ver afectados por eventos extremos de origen hidrometeorológico			
	Etapa 1: Esperar input estudios MDS	Etapa 2: Desarrollo mejoras metodologicas	Etapa3: Implementacion nuevas metodologias	
M10: Incorporación de cambios metodológicos en la etapa de desarrollo de obras de infraestructura en zonas costeras				
	Etapa 1: Esperar input estudios MDS	Etapa 2: Desarrollo mejoras metodologicas	Etapa3: Implementacion nuevas metodologias	

**Figura 31** Priorización temporal de la implementación de medidas de adaptación

## V. Conclusiones

Se presenta en este trabajo el informe final del estudio de esta consultoría en que el que se incluye de acuerdo a los términos de referencia la siguiente información:

- Síntesis de la revisión de la literatura, incluyendo diagnóstico de los impactos del cambio climático sobre la infraestructura, vulnerabilidad del sector.
- Resultados de las entrevistas y talleres realizados con distintas instituciones y servicios relacionados con el desarrollo de servicios de infraestructura.
- Identificación de las áreas de trabajo, de los programas, políticas y normativas que debieran considerar la temática de adaptación al cambio climático.
- Identificación de las líneas de acción y medidas específicas de adaptación y priorización de las mismas indicando los criterios empleados. Identificación de las capacidades actuales del sector, estableciendo qué entidades podrían hacerse cargo ellas.
- Plazos de ejecución aproximados, responsables y costos estimados para las líneas de acción y medidas específicas.
- Proponer un programa de trabajo futuro a corto plazo, para la coordinación y desarrollo de las líneas de acción y medidas específicas identificadas, por parte del MOP y el resto de las instituciones involucradas.

## Referencias

Baird&Associates S.A. (Noviembre de 2014). *Olas del Pacífico*. Obtenido de <http://www.olasdelpacifico.com/>

Bindoff, N. L., Willebrand, J., Artale, V., Cazenave, A., Gregory, J., Gulev, S., Hanawa, K., Le Quéré, C., Levitus, S., Nojiri, Y., Shum, C. K., Talley, L. D., Unnikrishnan, A. (2007). Observations: Oceanic climate change and sea level. En Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, H. L., eds. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom; New York, NY: Cambridge University Press.

Bindoff, N.L., P.A. Stott, K.M. AchutaRao, M.R. Allen, N. Gillett, D. Gutzler, K. Hansingo, G. Hegerl, Y. Hu, S. Jain, I.I. Mokhov, J. Overland, J. Perlwitz, R. Sebbari and X. Zhang, 2013: Detection and Attribution of Climate Change: from Global to Regional. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Castro, L., Gironás, J. (2014). A methodology to estimate probability of occurrence offloods using principal component. Paper presented at the AGU Fall Meeting 2014, San Francisco, USA. [15-19 December 2014]

CEPAL-ONU, (2012). *La economía del cambio climático en Chile. Cambio Climático en la Costa de América Latina y el Caribe*. Santiago Chile.

Church, J.A., P.U. Clark, A. Cazenave, J.M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M.A. Merrifield, G.A. Milne, R.S. Nerem, P.D. Nunn, A.J. Payne, W.T. Pfeffer, D. Stammer and A.S. Unnikrishnan, (2013): *Sea Level Change*. In: *Climate Change 2013 (WG1AR5\_Chapter13\_FINAL SEA LEVEL CHANGE): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Cropper, M. L. y D. Laibson.(1999). "The Implications of Hyperbolic Discounting for Project Evaluation", en P.R. Portney y J.P. Weyant (eds.), *Discounting and Intergenerational Equity*. Washington, DC: Resources for the Future, pp. 163-72

Cuenca Río Mataquito.Preparado por CADE-IDEPE consultores en Ingeniería. Santiago: MOP. (2008). Informe Técnico: Análisis crecida río Mataquito y tributarios 22 y 23 de mayo de 2008. Santiago: DGA, MOP

Cunnane, C. (1978). Unbiased plotting positions-a review. *Journal of Hydrology*, 205-222.

Dasgupta, P. (2001). *Human Well Being and the Natural Environment*, Oxford University Press

Demaría, E., Gironás, J., Vicuña, S. (2013). *Metodología propuesta para la inclusión del cambio climático en la planificación de infraestructura. Aplicación a puentes*. Marco Estratégico para la Adaptación de la Infraestructura al Cambio Climático. P. Universidad Católica de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Medioambiente.

Dirección de Obras Portuarias. (Noviembre de 2014). *Misión*. Obtenido de <http://www.dop.gov.cl/quienessomos/mision.htm>

Dirección de Planeamiento, (MOP 2011). Guía para la elaboración de planes. [http://www.dirplan.cl/centrodedocumentacion/Documents/Metodologia/Guia\\_Elaboracion\\_Plan\\_es\\_marzo\\_2011.pdf](http://www.dirplan.cl/centrodedocumentacion/Documents/Metodologia/Guia_Elaboracion_Plan_es_marzo_2011.pdf).

Dirección General de Aguas (DGA 2014). Pronostico de disponibilidad de agua temporada de riego 2014-2015

Dirección General de Aguas (DGA 2012). Plan de acción para la conservación de Glaciares ante el Cambio Climático

Dirección General de Aguas (DGA 2009). Estrategia Nacional de Glaciares. Santiago, Chile. S.I.T N° 205. 289 p

Directemar. (Noviembre de 2014). Obtenido de [http://meteoarmada.directemar.cl/prontus\\_meteo/site/edic/base/port/inicio.html](http://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/edic/base/port/inicio.html)

Directemar. (Noviembre de 2014). *Misión*. Obtenido de [http://www.directemar.cl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=121&Itemid=8&lang=es](http://www.directemar.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=8&lang=es)

División de Evaluación Social de Inversiones. (2014). Precios Sociales Vigentes 2014. [http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/fotos/Precios%20Sociales%20Vigentes%202014%20\(21julio14\).pdf](http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/fotos/Precios%20Sociales%20Vigentes%202014%20(21julio14).pdf)

División de Evaluación Social de Inversiones, (MDS 2013a). Metodología General de Preparación y Evaluación de Proyectos. <http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/fotos/Metodolog%C3%ADa%20General%202013.pdf>

División de Evaluación Social de Inversiones, (MDS 2013b). Metodología General de Preparación y Evaluación de Proyectos de Defensas Fluviales. <http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/fotos/Defensas%20fluviales%202013.pdf>.

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.

Edwards, G. (2002). La tasa de descuento en proyectos de inversión de largo plazo. *Revista de Análisis Económico*, Vol. 17, N° 2, pp. 123-141

Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile. (s.f.). *Preparación del Plan de Desarrollo Institucional de los Recursos Hídricos de Chile. Mejoramiento del Sistema de Información*. Santiago.

Field et al., (2012). *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.

Field et al., (2012). *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.

Falvey M., Garreaud R.D. (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

Falvey, M., y Garreaud R.D. (2007). Wintertime Precipitation Episodes in Central Chile: Associated Meteorological Conditions y Orographic Influences. *Journal of Hydrometeorology* 8(2): 171–193

FONDEF n° D10I1051 Sistema de soporte a la toma de decisiones para reducir la vulnerabilidad frente a variabilidad y cambio climático en agricultura de riego.

Garreaud, R. D. (2013). Warm winter storms in Central Chile. *Journal of Hydrometeorology*, 14, 1515–1534.

Gironás, J., Donoso, G., y Camaño, M. (2013). Infraestructura, incertidumbre y cambio climático. en: Neira, A. y González, P. (ed). *Marco Estratégico para la Adaptación de la Infraestructura al Cambio Climático*. Santiago, Chile: p. 37-45.

INH. (s.f.). "Catastro del recurso energético asociado a oleaje para el apoyo de la evaluación de proyectos de energía Undimotriz". Obtenido de <http://www.inh.cl/cms/images/stories/noticias/2014/seminario/Proyecto%20Undimotriz.pdf>

INH. (Noviembre de 2014). Funciones. Obtenido de <http://www.inh.cl/home/estructura/funciones>

IOC, U. (Noviembre de 2014). SEA LEVEL STATION MONITORING FACILITY. Obtenido de <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/>

IPCC (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report*

Izaguirre, C., Méndez, J. F., Espejo, A., Losada, I. J., Reguero, B. G. (2013). Extreme wave climate changes in Central-South America. *Climatic Change*. Doi:10.1007/s10584-013-0712-9

J.H. Núñez, K. Verbist, J.R. Wallis, M.G. Schaefer, L. Morales, W.M. Cornelis (2011), Regional frequency analysis for mapping drought events in north-central Chile, *Journal of Hydrology*, Volume 405, Issues 3–4, 5 August (2011), Pages 352-366



Keyantash, J., & Dracup, J. A. (2002). The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1167–1180.

Kirtman, B., S.B. Power, J.A. Adedoyin, G.J. Boer, R. Bojariu, I. Camilloni, F.J. Doblas-Reyes, A.M. Fiore, M. Kimoto, G.A. Meehl, M. Prather, A. Sarr, C. Schär, R. Sutton, G.J. van Oldenborgh, G. Vecchi and H.J. Wang, (2013) (WGII-AR5\_Chap27-Proofs): Near-term Climate Change: Projections and Predictability. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Leadbetter, M. (1983). Extreme events and local dependence in stationary sequences. *Probability Theory and Related Fields*, 65(2), 291-306.

Liang, X., Lettenmaier, D. P., Wood, E. F., Burges, S. J. (1994). A simple hydrologically based model of land-surface water and energy fluxes for general circulation models. *Journal of Geophysical Research- Atmospheres* 99(D7), 14415-14428.

Losada, I. J., Reguero, B. G., Méndez, F. J., Castanedo, S., Abascal, a. J., & Mínguez, R. (2013). Long-term changes in sea-level components in Latin America and the Caribbean. *Global and Planetary Change*, 104, 34–50. doi:10.1016/j.gloplacha.2013.02.006

Magrin, G.O., J.A. Marengo, J.-P. Boulanger, M.S. Buckeridge, E. Castellanos, G. Poveda, F.R. Scarano, and S. Vicuña, (2014): Central and South America. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White(eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. XXX-YYY.

Mailhot, A., & Duchesne, S. (2010). Design criteria of Urban Drainage Infrastructures under Climate Change. *Journal of water resources planning and management*, 201-208.

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, M.H., A. Rivera, L.E. Espizua, R. Villalba, S. Delgado, y J.C. Aravena. (2009). Glacier fluctuations in extratropical South America during the past 1000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281(3-4): 242–268.

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., (2007). Fineresolution climate change projections enhance regional climate change impact studies, *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, 88, p. 504.

McCuen, R. H., Beighley, R. E. (2003). Seasonal flow frequency analysis. *Journal of Hydrology* 279(1-4), 43-56.

McPhee, J. (2014). Preparación del Plan de Desarrollo Institucional de los Recursos Hídricos de Chile. Mejoramiento del Sistema de Información.

Means, E., III, M. Laugier, J. Daw, L. Kaatz, and M. Waage, (2010). Decision Support Planning Methods: Incorporating Climate Change Uncertainties Into Water Planning. Water Utility Climate Alliance White Paper, 113 pp., Water Utility Alliance, San Francisco, CA. [Available online at [http://www.wucaonline.org/¿assets/pdf/pubs\\_whitepaper\\_012110.pdf](http://www.wucaonline.org/¿assets/pdf/pubs_whitepaper_012110.pdf)].

Meza F.J., Vicuña, S., Jelinek, M., Bustos, E., Bonelli, S. (2014). Assessing water demands and coverage sensitivity to climate change in the urban and rural sectors in Central Chile. *Journal of Water and Climate Change*. 5(2): 192-203

Meza F.J., Recent trends and ENSO influence on droughts in Northern Chile (2013). An application of the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, *Weather and Climate Extremes*, Volume 1, Pages 51-58

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

Ministerio de Agricultura (MINAGRI 2014). ODEPA: Evolución de superficies de frutales por región.

Ministerio de Agricultura (MINAGRI 2014). Unidad de Emergencias Agrícolas: Probabilidad de ocurrencia de sequías con un 20% de reducción en precipitación

Ministerio de Hacienda, Dirección de Presupuesto (DIPRES 2007). Informe Final de Evaluación del Programa Sistema Nacional de Inversiones. [http://www.dipres.gob.cl/595/articles-31759\\_doc\\_pdf.pdf](http://www.dipres.gob.cl/595/articles-31759_doc_pdf.pdf)

Ministerio de Medio Ambiente (MMA 2013). Análisis de los Procedimientos y Metodologías de la Dirección General de Aguas para la Adaptación al Cambio Climático

Ministerio de Medio Ambiente (MMA 2014). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático.

Ministerio de Obras Públicas (MOP 2012). Manual de carreteras vol. nº 3 instrucciones y criterios de diseño. Santiago.

Ministerio de Obras Públicas (MOP 2013). Marco estratégico para la adaptación de la infraestructura al Cambio climático

MOP-DGA (2014). Preparación del Plan de Desarrollo Institucional de los Recursos Hídricos de Chile. Mejoramiento del Sistema de Información. Ministerio de Obras Públicas

Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Williams J.R. (2005). Soil and Water Assessment Tool, Theoretical Documentation, Texas Water Resources Institute: College Station, TX.

Oerlemans, J. (1994). Quantifying global warming from the retreat of glaciers. *Science* 264(5156): 243–245

Preston, B. L., R. M. Westaway, and E. J. Yuen, (2011). Climate adaptation planning in practice: An evaluation of adaptation plans from three developed nations. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 16, 407-438, doi:10.1007/s11027-010-9270-x

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

Rojas, M. (2012). Consultoría para la elaboración de un estudio sobre estado del arte de modelos para la investigación del calentamiento global. Consultoría realizada en el marco del proyecto MAPS

Rossman, L.A.(2008). Storm Water Management Model e User's Manual Version 5.0. National Risk Management Research Laboratory USEPA, Cincinnati, Ohio, USA

Salas, J., & Obeyeskera, J. (2014). Revisiting the concepts of return period and risk of non stationary hydrologic extreme events. *Journal of hydrologic engineering*, 554-568.

SHOA PUB. 3201 (2005). INSTRUCCIONES OCEANOGRÁFICAS Nº1. Especificaciones técnicas para mediciones y análisis oceanográficos. Actualización 4 de noviembre de 2011 al Capítulo III, apartado 3.1 "Estudio de Olas". Última actualización: 28 de diciembre de 2012, Anexos "A", "B" y "C"

SHOA. (Noviembre de 2014). *Mareas en tempo real*. Obtenido de <http://www.shoa.cl/mareas/mapa.php>

SHOA. (Noviembre de 2014). *Misión institucional*. Obtenido de <http://www.shoa.cl/organizacion/mision/mision.php>

SHOA. (Noviembre de 2014). *Organigrama*. Obtenido de <http://www.shoa.cl/organizacion/organigrama/organigrama.php>

SHOA. (s.f.). *Proyecto Argo*. Obtenido de [http://www.shoa.cl/n\\_cendhoc/base\\_datos/argo/proyecto/proyecto.htm](http://www.shoa.cl/n_cendhoc/base_datos/argo/proyecto/proyecto.htm)

Stocker, Thomas F., et al. "Climate change (2013): The physical science basis." Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5)(Cambridge Univ Press, New York)(2013)

Turner, R. K.; D. Pearce e I. Bateman. (1993). Environmental Economics: An Elementary Introduction. The Johns Hopkins University Press

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (2013) Hydrologic Modeling System Version 4.0.

Viale, M., Nuñez, M.N. (2011). Climatology of winter orographic precipitation over the Subtropical Central Andes and associated synoptic and regional characteristics. *Journal of Hydrometeorology* 12, 481-507

Vicuña, S., Gironás, J., Meza, F.J., Cruzat, M.L., Jelinek, M., Bustos, E., Poblete, D., and Bambach, N., (2013). Exploring possible connections between hydrological extreme events and climate change in central south Chile. *Hydrological Sciences Journal*, 58 (8), 1–22

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

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

Viviroli, D., H.H. Dürr, B. Messerli, M. Meybeck, y R. Weingartner. (2007). Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping, y global significance. *Water Resources Research* 43(7): W07447

Vogel, R., Yaindl, C., & Walter, M. (2011). Nonstationarity: flood magnification and recurrence reduction factors in the United States. *Journal of the American water resources association*, 464-474

Weitzman, M. L. (2001). Gamma Discounting. *American Economic Review*, 91 (1), pp. 260-71

# Anexo 1: Ciclo de Vida Obras

De los ciclos de vida de obras de infraestructura seleccionadas a partir de análisis previos del marco estratégico de análisis del cambio climático en la infraestructura del MOP (“Marco estratégico para la adaptación de la infraestructura al cambio climático”), se visualiza que, salvo excepciones con limitada aplicación práctica, el proceso actual de definición, planificación, evaluación, diseño y seguimiento de los servicios de infraestructura en Chile no considera al cambio climático y las necesidades de adaptación a los impactos de éste en forma explícita.

A continuación se muestran figuras de dichos ciclos de vida donde el equipo consultor propone incorporar el cambio climático, en base a lo discutido en estudios previos y el actual con los distintos actores involucrados.

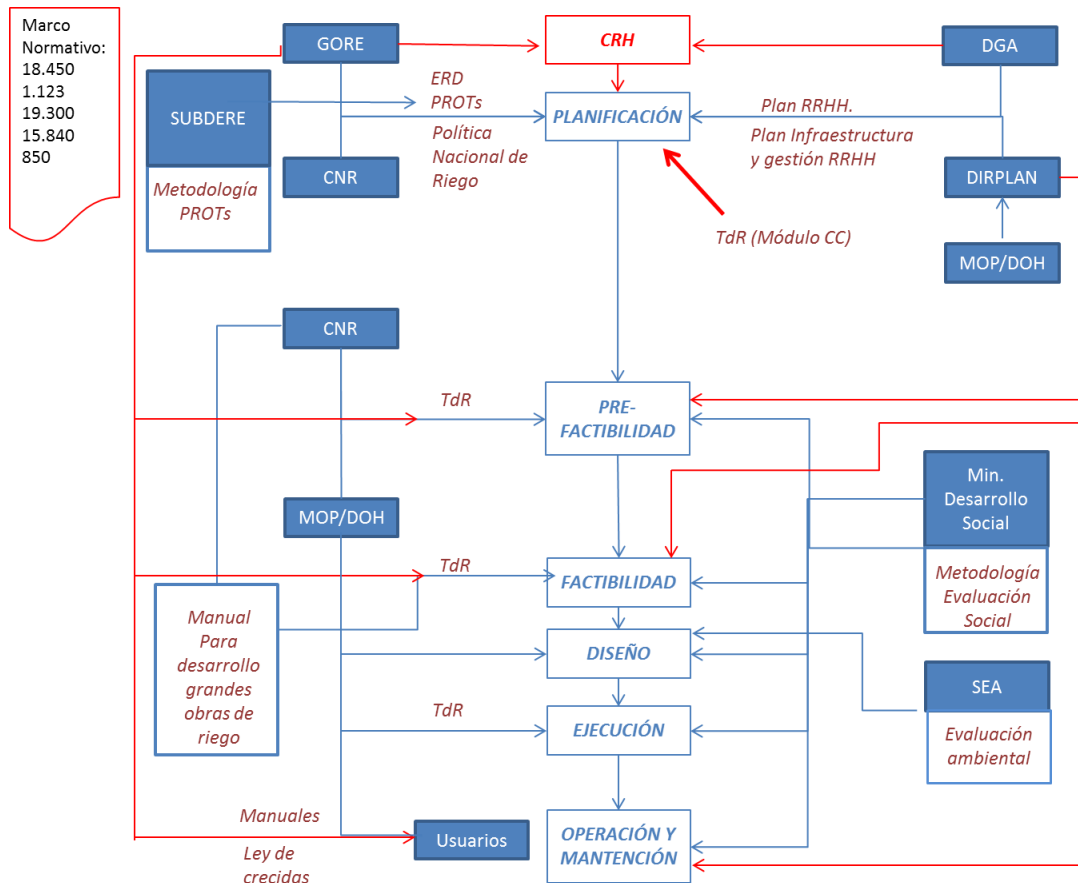
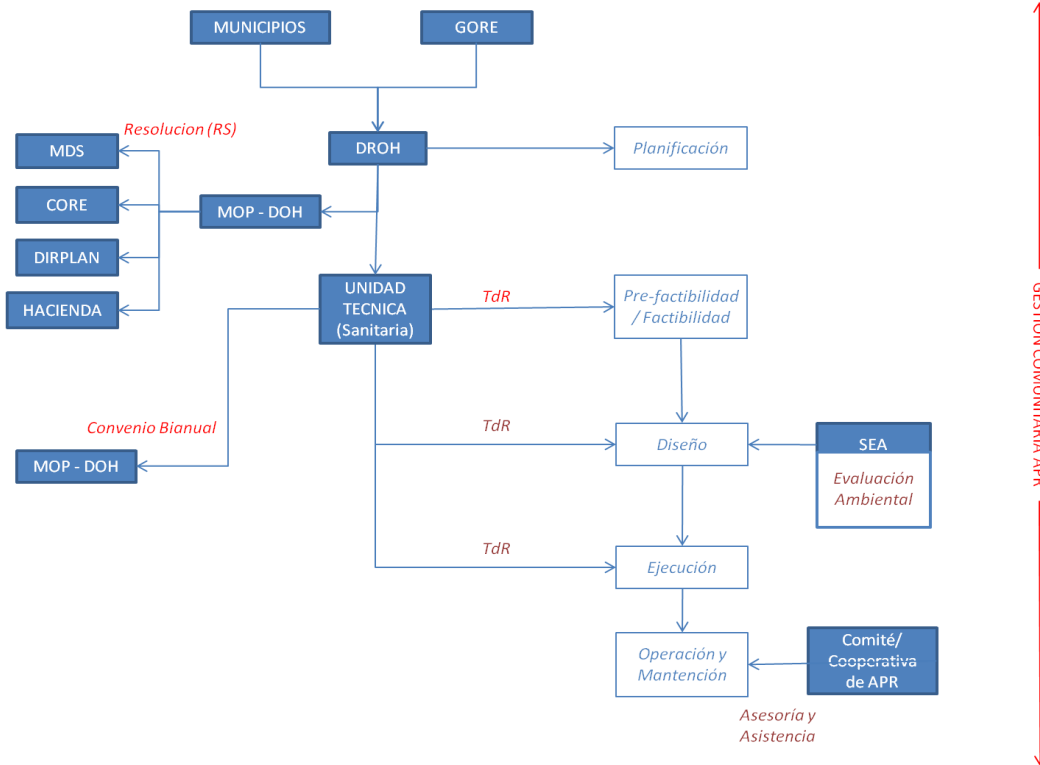
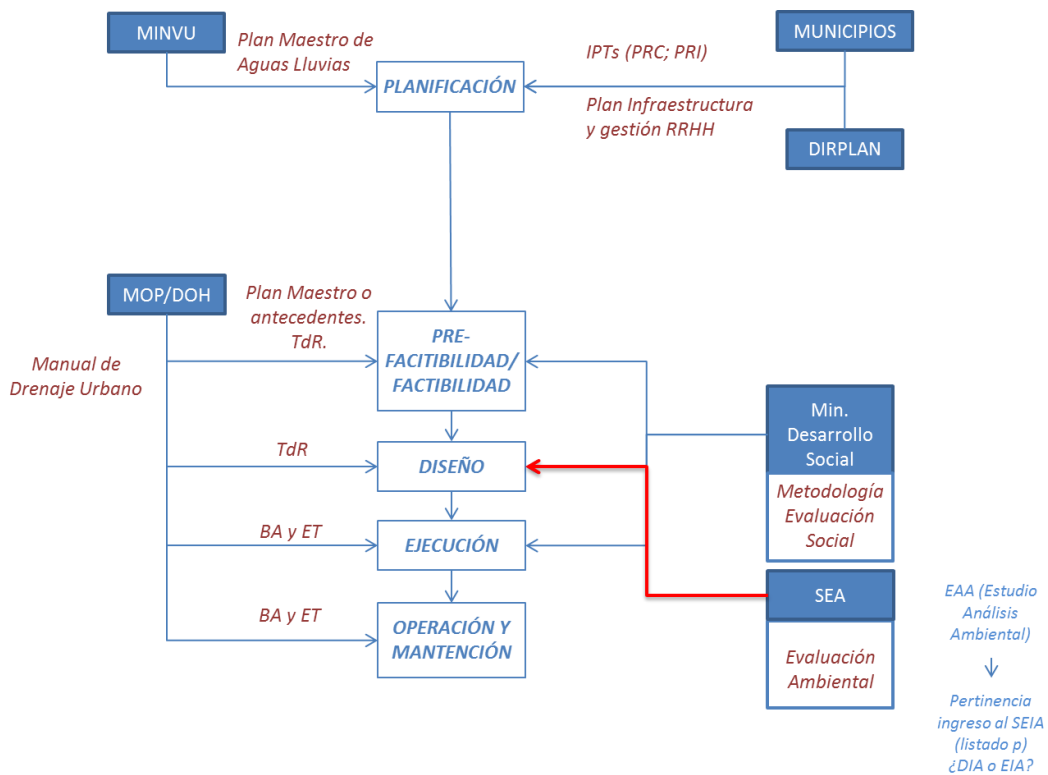


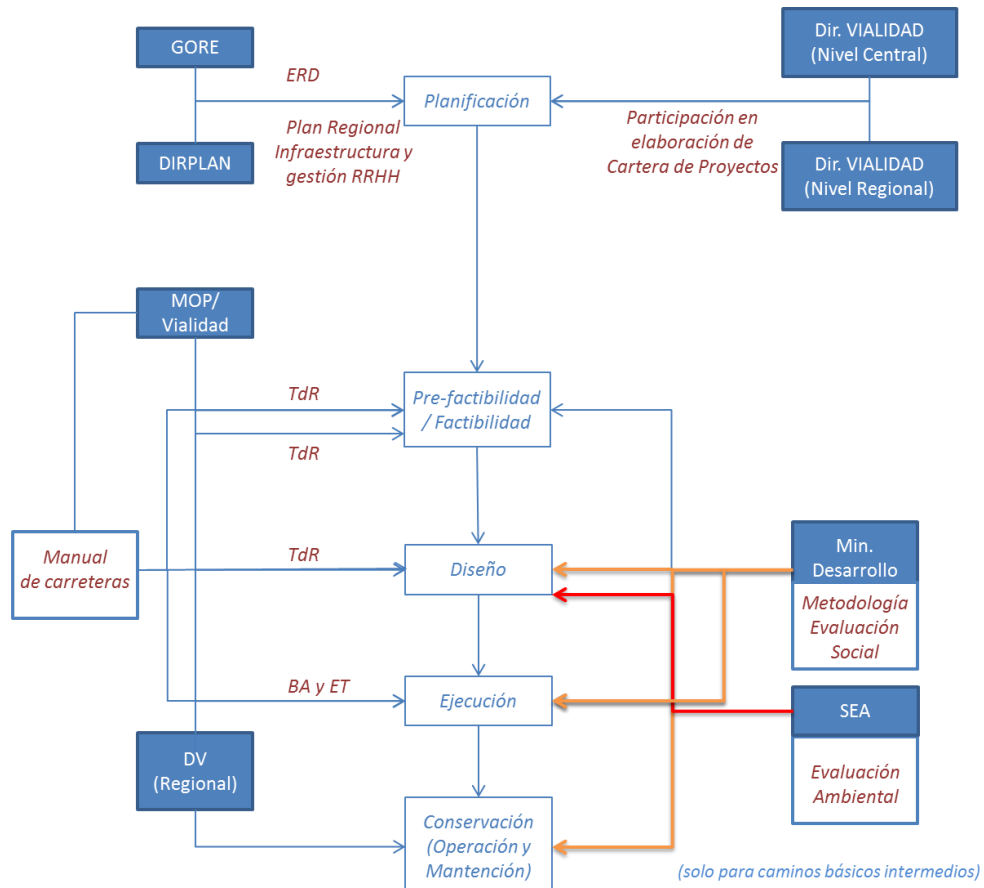
Ilustración 1 Ciclo de Vida de obras de Riego



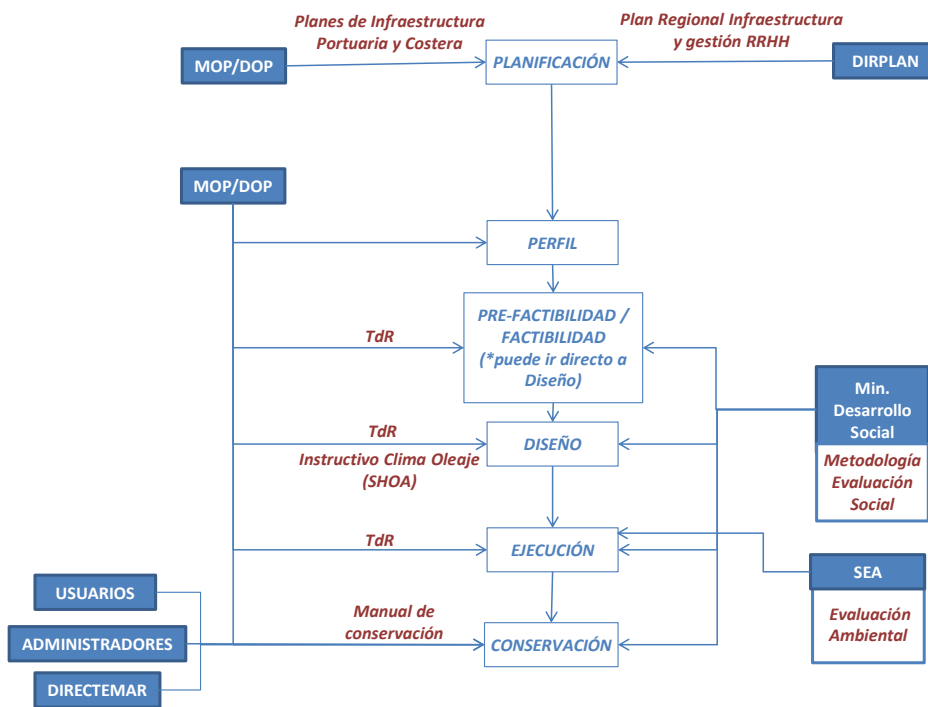
**Ilustración 2 Ciclo de Vida para sistemas de Agua Potable Rural**



**Ilustración 3 Ciclo de Vida Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias**



**Ilustración 4 Ciclo de Vida Puentes y Proyectos Viales Interurbanos**



**Ilustración 5 Ciclo de vida Obras de Infraestructura Portuaria y de Ribera**

## Anexo 2: Resultados de Reuniones bilaterales y Talleres Intersectoriales

Se llevaron a cabo ocho reuniones bilaterales y dos Talleres intersectoriales entre el equipo consultor y las divisiones/departamentos del MOP y ministerios relacionados con el ciclo de vida de obras de infraestructura públicas. En total participaron doce divisiones/departamentos de seis Ministerios diferentes.

Ministerio de Obras Públicas (MOP): DIRPLAN, DGOP, DGA, DOP, DV, DOH

Ministerio de Agricultura (MINAGRI): CNR

Ministerio del Interior (MINTERIOR): ONEMI, SHOA

Ministerio de Medio Ambiente (MMA)

Ministerio de Desarrollo Social (MDS)

Ministerio de Defensa Nacional (MDN): DIRECTEMAR

Las reuniones bilaterales se llevaron a cabo durante los meses de septiembre y principios de octubre y tuvieron tres objetivos principales:

- i) establecer un marco conceptual de riesgo de desastres y mostrar el avance del equipo Consultor en la identificación de la vulnerabilidad del sector;
- ii) mostrar el metodológico de trabajo para abordar el estudio, en base a los estudios previos del 2012 y 2013 llevados a cabo;
- ii) solicitar información que la Contraparte considere relevante para el estudio y revisión de temas específicos

El primer Taller intersectorial se realizó el 10 de Octubre y contó con la participación de los invitados (o representantes) de las reuniones bilaterales. El objetivo fue mostrar los avances desde las últimas reuniones en torno al enfoque de medidas específicas identificadas, y la solicitud de información para estimar costos.

El segundo Taller intersectorial fue llevado a cabo el día 2 de Diciembre, donde asistieron representantes de las divisiones y departamentos del MOP y demás Ministerios, y se incluyeron actores clave identificados en las etapas previas del Estudio. El objetivo fue mostrar las medidas de adaptación propuestas como resultado del trabajo, y pulir las observaciones realizadas al informe final.

A continuación se detallan los resultados de cada una de esas actividades.

### A. Reuniones bilaterales

#### 1. Amenaza por escasez del recurso hídrico

Se realizaron dos reuniones relacionadas a la amenaza de escasez de recurso hídrico, donde hubo asistentes de la División de Obras Hidráulicas - Departamento Proyectos de Riego y de la Comisión Nacional de Riego.



El consultor presentó a la contraparte técnica el equipo de trabajo y la metodología de trabajo para abordar el estudio, en base a los estudios previos del 2012 y 2013 llevados a cabo por el equipo.

Se presenta el ciclo de vida de los proyectos de Embalses, con sus interacciones ministeriales, y se discute que se debe abordar el cambio climático desde la Planificación.

A propósito de las medidas detectadas por el Consultor, se discute en la DOH que en Chile debiesen existir dos líneas para abordar la escasez hídrica:

- Medidas estructurales.
- Medidas no estructurales, como la gestión previa al desarrollo de proyectos desde la Planificación.

De modo transversal a los dos puntos mencionados, debiese existir un monitoreo del sistema hídrico y de emergencias más robusto (donde se menciona que la DGA tiene un rol clave). Con ello establecer también mejores diagnósticos en miras de la Planificación.

## **2. Amenaza por Inundaciones Fluviales**

Se realizó una reunión en la Dirección de Vialidad del MOP, donde se muestran los efectos de la variabilidad climática en obras de infraestructura.

Se discute el enfoque actual: Normativa vigente en diseño de puentes según “Manual de carreteras” MOP (ciclo de vida completo de las obras de vialidad), donde no se considera la variabilidad de la línea de nieves desde este punto de vista. Considerar esta variabilidad a futuro podría ser una alternativa. Adicionalmente, los métodos hidrológicos actuales están basados en lluvias de diseño, por lo que no incorporan en forma explícita una visión concurrente de “temperaturas de diseño”, ni variabilidad de condiciones de la cuenca modelada.

Se presentan algunas propuestas:

- Realizar un catastro de profesionales a nivel de país que se encuentran trabajando en metodologías de simulación continua.
- Proponer en qué tipo de obras deberían aplicarse modelos de este tipo, entendiendo la complejidad de éstos.
- Otra posibilidad a tener en cuenta es generar una metodología para cambiar los valores de variables de diseño, o de entrada a modelos, a través de un análisis estadístico no “estacionario”. Esto podría ser alternativa de interés de menor costo que el desarrollo de estudios tan específicos con fuerte contenido de base física.

## **3. Amenaza por Inundaciones Costeras**

Se realizaron dos reuniones bilaterales en esta línea, la primera reunión fue en la Dirección de Obras Portuarias del MOP, donde el consultor presentó a la contraparte técnica el equipo de

trabajo y la metodología de trabajo para abordar el estudio, en base a los estudios previos del 2012 y 2013 llevados a cabo por el equipo. También presentó las Amenazas Costeras y sus posibles efectos en Erosión, Inundación y Daños a la infraestructura.

Como propuestas a este estudio se propone continuar con las metodologías específicas y la estimación de los costos de bases de datos nuevas y monitoreo (generación de información de entrada para los modelos).

La segunda reunión bilateral en la línea de amenazas costeras se llevó a cabo en el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), donde se hace una presentación del Estudio y luego se conduce mediante una serie de preguntas. A modo general, los resultados más importantes fueron: i) identificar que el SHOA cuenta con capacidades principalmente referidas a la etapa de instalación de instrumental para monitoreo de condiciones oceanográficas; ii) se encuentra operativo el sensor de oleaje y además de las boyas, existen una serie de instrumentos que pueden ser complementarios para el monitoreo de oleaje (sensores de fondo, sensores por radiometría), etc. iii) Se cuenta con cotizaciones referidas a la adquisición de los instrumentos más recientes y se pide hacer una estimación de los costos generales asociados a la implementación y mantención.

#### **4. Inversión y Política Pública**

Se realizaron dos reuniones en torno al tema transversal de Inversión y Política Pública, donde hubo asistentes del MDS, MOP (DIRPLAN, DGA, DGOP), ONEMI y MMA.

El consultor presentó a la contraparte técnica el equipo de trabajo y la metodología de trabajo para abordar el estudio, en base a los estudios previos del 2012 y 2013 llevados a cabo por el equipo. Se hace mención al marco conceptual del IPCC seguido por el equipo consultor en cuanto a riesgos de impacto por el cambio climático, ante lo cual la ONEMI identificó diferencias en definiciones, lo que se traduce finalmente en el protocolo adoptado por la contraparte para la gestión del riesgo.

Dentro de las propuestas para este Estudio se sugirieron las siguientes:

- Entender el proceso de ciclo de vida de obras, procedimientos por obras y las etapas clave donde los análisis de cambio climático se deben incorporar
- Incorporar una tasa de descuento decreciente en el tiempo, porque algunas obras ameritan la evaluación de adaptación al cambio climática en su planificación o diseño
- Considerar el horizonte de evaluación, pues la decisión de incluir o no la adaptación al cambio climático en la planificación o diseño de una obra dependerá de la vida útil de la obra (la adaptación al cambio climático podría considerarse no solo en la planificación, diseño y construcción, sino que también en la mantención de las obras)
- Posibilidad de incluir otro tipo de elementos complementarios en la planificación de un proyecto

Se propone que haya discusión interministerial y una planificación para incluir una discusión sobre la adaptación de la infraestructura al cambio climático. Además se propone la Inclusión del cambio climático en plataforma de gestión de desastres que coordina ONEMI, con la consecuente

homologación de conceptos y reconocimiento de generación de información en amenazas y medidas de adaptación que surgen de la gestión de desastres.

## B. Taller 1 - Mesas de Trabajo

El Taller de Trabajo comenzó con la presentación de los Avances en cuanto a la actualización de información de los documentos más relevantes: IPCC-AR5, IPCC, 2013 (capítulo Centro y Sudamérica) para el análisis de amenazas.

Luego se presenta el enfoque metodológico utilizado en los estudios previos desarrollado por el Equipo Consultor en base al “árbol de decisión” para incluir impactos del cambio climático dentro de fases asociados a vidas de proyecto. Se presentaron las recomendaciones de los estudios previos en cuanto a:

1. Desarrollar metodología específica en casos particulares;
2. Mejorar sistemas de monitoreo de amenazas y vulnerabilidad;
3. Promover discusión interministerial relativa a la incorporación del cambio climático en el proceso de decisión de obras de infraestructura

Se acogen estas recomendaciones como punto de partida para avanzar en profundizar en el desarrollo de nuevas metodologías, que actualicen las existentes:

Las metodologías actuales asumen el supuesto de estacionariedad en análisis de frecuencia y distribuciones de probabilidad para definir lluvias de diseño, modelación lluvia-escorrentía, cálculo hidráulicos; Clima de oleaje y Caudales afluentes a sitios de emplazamiento de embalses. Además usan Análisis de eventos, a diferencia de series continuas.

Para la incorporación de las actualizaciones se distinguen dos caminos posibles:

- Bajo costo relativo: Análisis de tendencias en base a información disponible (revisar y mejorar instructivos actuales). Uso de funciones de distribución con parámetros variables en el tiempo dependientes de la tendencia.
- Mayor costo relativo: Estudios prospectivos incorporando escenarios de cambio climático futuro (implementación de nuevos métodos de modelación).

Con respecto a las mejoras necesarias en los monitoreos, se mencionan varios ejemplos:

- Medición de variables hidrometeorológicas en altura
- Monitoreo y disposición en línea de caudales extremos
- Mejorar la cobertura de monitoreo en costas tanto a nivel espacial como temporal
- Atribución y forzantes complementarios: movimientos co-sísmicos, uso de suelo, patrón cultivos

Finalmente con respecto al avance presentado en la línea de Elementos transversales y Políticas Públicas, se distinguen dos estrategias:

- Necesidad de incorporar una Relación entre cambio climático y desastres;
- Mirada del largo plazo en inversión pública

Todos estos temas son tratados en las mesas de Trabajo con los distintos sectores involucrados, como se detalla a continuación:



**Ilustración 6 Foto Mesas de Trabajo Taller Intersectorial**

## **1. Amenaza por escasez del recurso hídrico**

Se presentan los diagramas de flujo de los ciclos de vida para abrir la discusión de los puntos donde se podría incorporar medidas de adaptación al cambio climático adicionales. El enfoque de esta mesa de trabajo fue incluir Estudio de Recursos Hídricos a partir de la disponibilidad, incluir las metodologías utilizadas en estudios de diseño y los sistemas de monitoreo de amenazas.

En cuanto a las mejoras en monitoreo de amenaza, está el desafío de la medición hidroclimática y estudios de cuenca; monitoreo de la superficie de riego para determinar exposición de los agricultores; y continuar y mejorar monitoreo de estados de obras. Existen herramientas y estaciones usadas por otros organismos, donde se puede establecer información de costos.

Con respecto a la falla en el suministro de Agua Potable Rural, no existe un diagnóstico formal de los parámetros ni de la operación, sólo se sabe que hay falla a través de los reclamos de la Gestión Comunitaria. Hace falta Mejores "Sistemas de monitoreo" de las amenazas. Conocimiento de manifestación de la amenaza y forzantes complementarias aparte de forzantes climáticas.

## **2. Amenaza por Inundaciones Fluviales**

Comienza la mesa de trabajo con la revisión de esquemas de ciclos de vida de obras primarias de evacuación y drenaje urbano, Obras de manejo de cauce puentes y Puentes. Se realizan las correspondientes observaciones: Proponer la revisión del SEA para incluir ciertas obras o clarificar aspectos relacionados; se aclara que la Dirección General de Aguas (DGA) es informada de obras de drenaje, pero no participa en la toma de decisión (por otra parte los Municipios sólo se

consideran en consulta ciudadana); se aclara además que los términos de referencia (TdR) hasta ahora no incorporan ningún tipo de módulo referido a la incorporación del Cambio Climático.

Con respecto a Puentes, en el monitoreo se recomienda no duplicar esfuerzos con la DGA cuando corresponda. Es la DGA la que debiese implementar estaciones hidrometeorológicas de utilidad en la caracterización de las amenazas climáticas por exceso de agua. En este contexto, se debe considerar integración de trabajos, esfuerzos coordinados. En la línea de lo anterior, se propone que a través de licitaciones se solicite la instalación de estaciones de monitoreo, las que después debiesen ser operadas y conservadas por la DGA.

En cuanto al diseño de obras, toda la actividad de la DOH es licitada. Se estima que solicitar un capítulo o acápite en una licitación sobre cambio climático (e.g. Modelación, análisis de sensibilidad, etc.) no debiese aumentar significativamente el costo de la licitación. Se ve como necesario incorporar el CC en función del nivel de servicio o beneficios de una obra, y no sólo de sus costos comparativos con el de un estudio que incorpore cambio climático. Eventualmente se podría llegar incluso a una clasificación y jerarquización de cuencas según el grado de beneficio general que significaría la consideración del cambio climático. Esta jerarquización o clasificación también permitiría planificar la instrumentación y monitoreo.

### **3. Amenaza por Inundaciones Costeras**

Se hace una Presentación ciclo de vida de obras, preguntas sobre metodologías y sistema de monitoreo.

En cuanto a los sistemas de monitoreo, está la necesidad de robustecer el monitoreo de nivel del mar y de oleaje, entre otros. Instrumentos de monitoreo, mejoras a considerar cámaras de observación en zonas costeras (Argus-Deltares, Cam-Era NZ), GPS, boyas, aportes de sólidos/transporte de sólidos, monitoreo satelital, entre otros.

Entidades relacionadas: DOP es la encargada de la evaluación de tendencias y comportamientos de condiciones, el SHOA quien hace mantenimiento a las boyas del nivel del mar y el INH en cuanto a capacitación de manejo, procesamiento y análisis de los datos. Con respecto a la medición de oleaje en puertos, se detecta que la DIRECTEMAR lleva el registro estadístico de puertos y el EPSA es el responsable del intercambio de información. MMA. Institución responsable de definir escenarios, podría mandar estudios de escenarios de oleaje y Estudios de climas futuros. Entre otros.

Adicionalmente se discute sobre los costos de incorporar las diferentes necesidades de monitoreo, incorporación de proyecciones futuras en el diseño, modelación de oleaje, etc. En cuanto a Recurso humano calificado, se detecta carencia desde la formación profesional para manejar los modelos y las nuevas herramientas.

### **4. Inversión y Política Pública**

Se plantea que sería importante unificar conceptos entre lo que propone el equipo consultor y el plan de gestión de riesgos de la ONEMI. Esta discusión se debe plantear no tan solo a nivel de

adaptación de infraestructura, sino que también debe ser parte de Plan Nacional de gestión del Riesgo.

Es necesario incluir medidas complementarias como Planificación territorial, infraestructura verde (el cual trabaja en su mayoría el gobierno regional). Pueden incluso ser medidas menos costosas. También puede participar de este tipo de medidas la DGA, que ve por ejemplo temas de gestión de demanda de agua. Son medidas más a largo plazo pero que igualmente pueden funcionar.

En cuanto al catastro de obras, se señala que es en el periodo de mantenimiento es cuándo se evalúa cómo se puede ir mejorando una determinada obra, o cómo ha sido su respuesta frente al requerimiento inicial por el cual se construyó, esto podría contribuir a disminuir la vulnerabilidad. Lo que se tendría que hacer para mejorar esta situación es tomar medidas preventivas, no reactivas.

Otra medida de adaptación es la sistematización de la información, podría haber una especie de organización de convergencia de información, que vaya monitoreando en distintos sectores la ocurrencia de eventos extremos a los que ciertas obras de infraestructura deben responder, y que vaya dando señales de alerta cada cierto tiempo para llevar a cabo la evaluación este análisis de sensibilidad de la infraestructura más detallado para el diseño de las obras.

Debe existir una visión estratégica que incorpore todos los planes interministeriales de adaptación. Monitorear la infraestructura, hacer las evaluaciones bajo distintos escenarios de cambio climático, etc. También debe haber una mirada en la estrategia regional de desarrollo, dado que el cambio climático involucra nuevos escenarios, por ejemplo, para la zona sur del país.

En cuanto al monitoreo de la amenaza, hay avances en ese sentido pero falta mucho. Debe haber un plan nacional de riesgo de desastre que involucre cambio climático, sino no tiene sentido hacer planes sectoriales por separado. De todas formas, hay que hacer la salvedad que cambio climático puede representar a veces una oportunidad.



## C. Presentación Taller 1 - Mesas de Trabajo

# Propuesta de un portafolio de medidas para elaborar el plan de adaptación al cambio climático para la infraestructura



Sebastian Vicuña

Taller interministerial

10 de Octubre, 2014 MMA



## Temario

- Avances del proyecto
- Síntesis reuniones bilaterales
- Preparación trabajo en grupos



## Objetivos y alcances del proyecto

- Objetivo general:
  - Elaborar una propuesta de Portafolio para el “Plan de Adaptación al Cambio Climático para la Infraestructura”
- Objetivos específicos:
  - Identificar las unidades del MOP, cuyo trabajo se verá afectado debido a los impactos que el cambio climático.
  - Identificar los organismos, además del Ministerio de Obras Públicas, que comparten ámbitos de acción y que requerirán coordinación con las unidades de trabajo del MOP para la implementación de acciones de adaptación al cambio climático
  - Identificar líneas de acción y medidas específicas para la adaptación del sector al cambio climático. Priorizar dichas medidas



## Equipos de trabajo

Sebastián Vicuña	Director de Proyecto
Guillermo Donoso	Inversión pública infraestructura
Francisco Meza	Obras de riego
Jorge Gironás	Obras viales, de drenaje y manejo de cauces
Rodrigo Cienfuegos	Obras portuarias
Pilar Lapuente	Coordinador de proyecto



## Metodología de trabajo

- Catastro de estudios previos
- Identificar líneas de acción
- Identificación de organismos involucrados en llevar a cabo líneas de acción y medidas específicas
- Proceso de entrevistas al interior del MOP
- Talleres de trabajo de discusión interministerial
- Estimación de Costos
- Portafolio de medidas de adaptación



## Metodología de trabajo

- Catastro de estudios previos
- Identificar líneas de acción
- Identificación de organismos involucrados en llevar a cabo líneas de acción y medidas específicas
- Proceso de entrevistas al interior del MOP
- **Talleres de trabajo de discusión interministerial**
- Estimación de Costos
- Portafolio de medidas de adaptación



## Hitos principales

Inicio	1 de Agosto
Entrevistas MOP	Reunión grupal 26 de Agosto y reuniones bilaterales primeras semanas de Septiembre
Informe 1	16 de Septiembre
Taller intersectorial 1	Viernes 10 Octubre. 14.00-17.00
Informe 2	5 de Noviembre
Taller intersectorial 2	Por definir

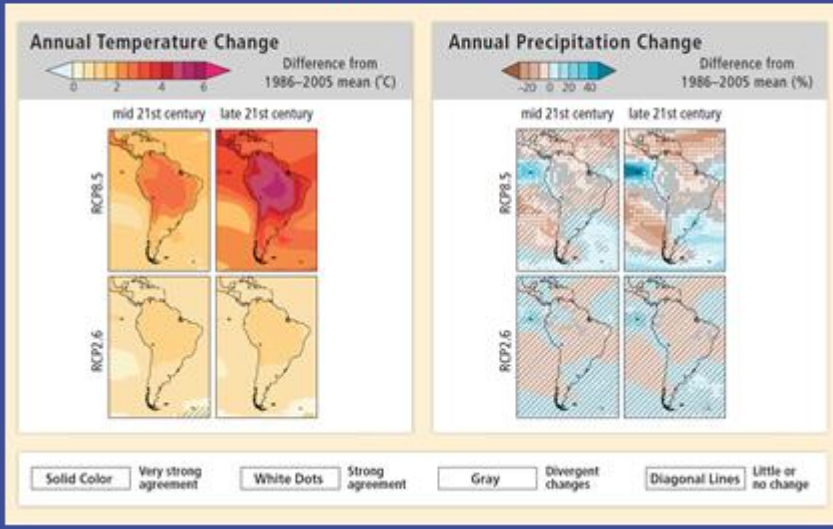


## Informe 1 Actualización información de amenazas (IPCC-AR5)

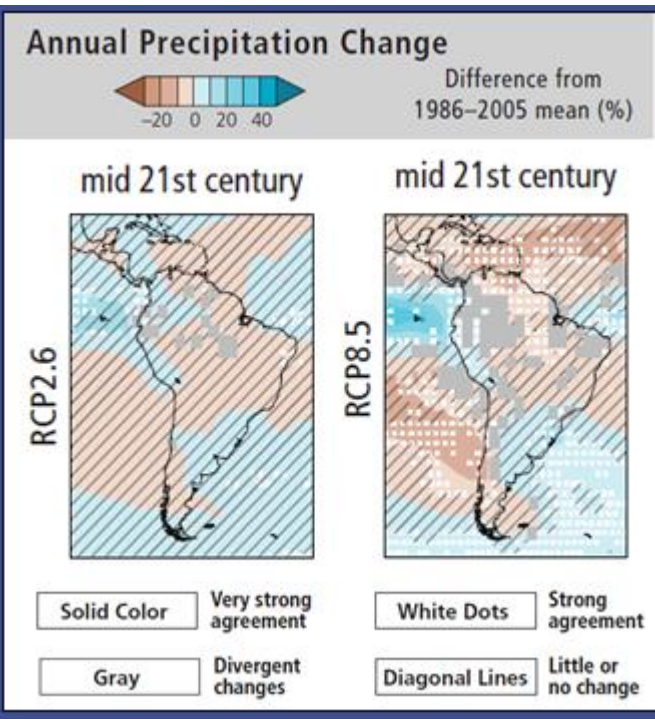


# Informe 1

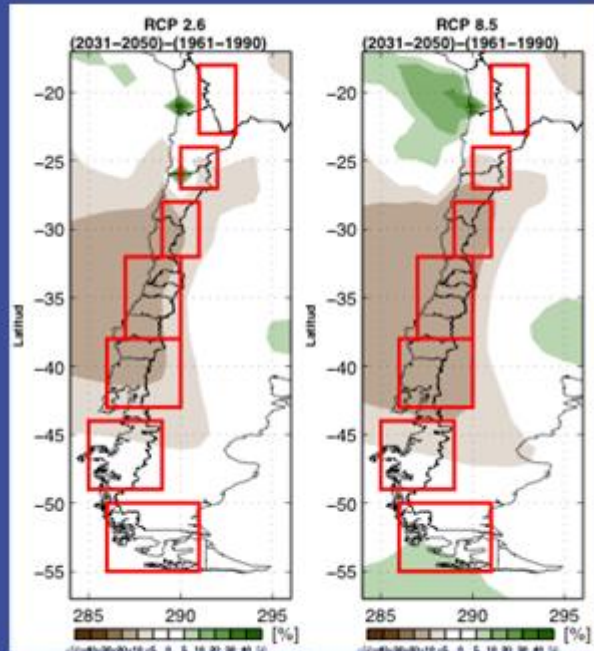
## Actualización información de amenazas (IPCC-AR5)



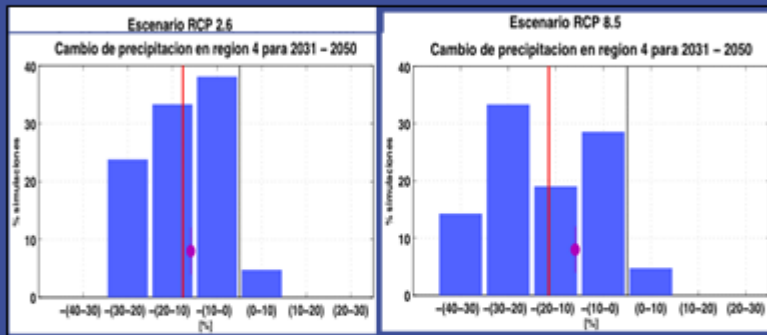
IPCC, 2014



IPCC, 2014



Rojas, 2013



Rojas, 2013

# Escenarios en cuenca del río Mataquito

## Tendencia de precipitación

## Tendencia de temperatura

Figura 40.12

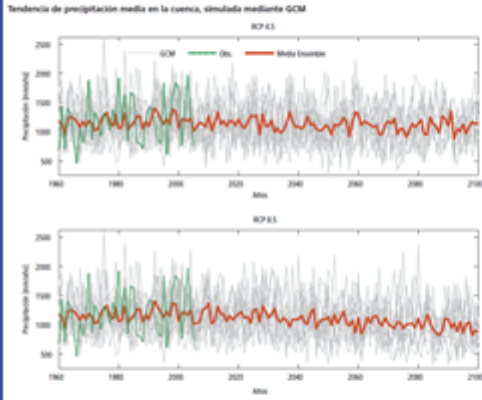
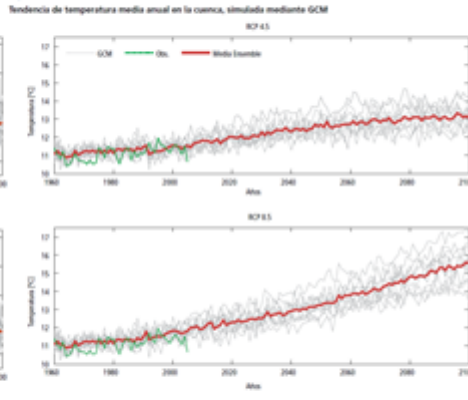


Figura 40.13



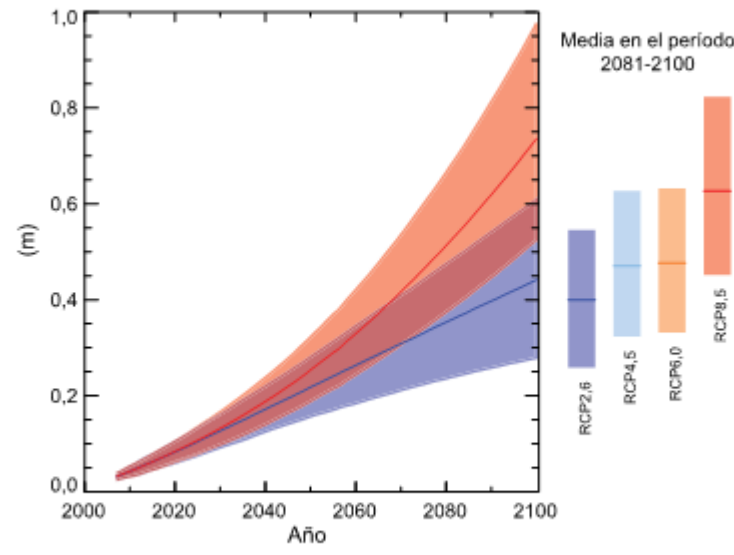
más seco

más cálido

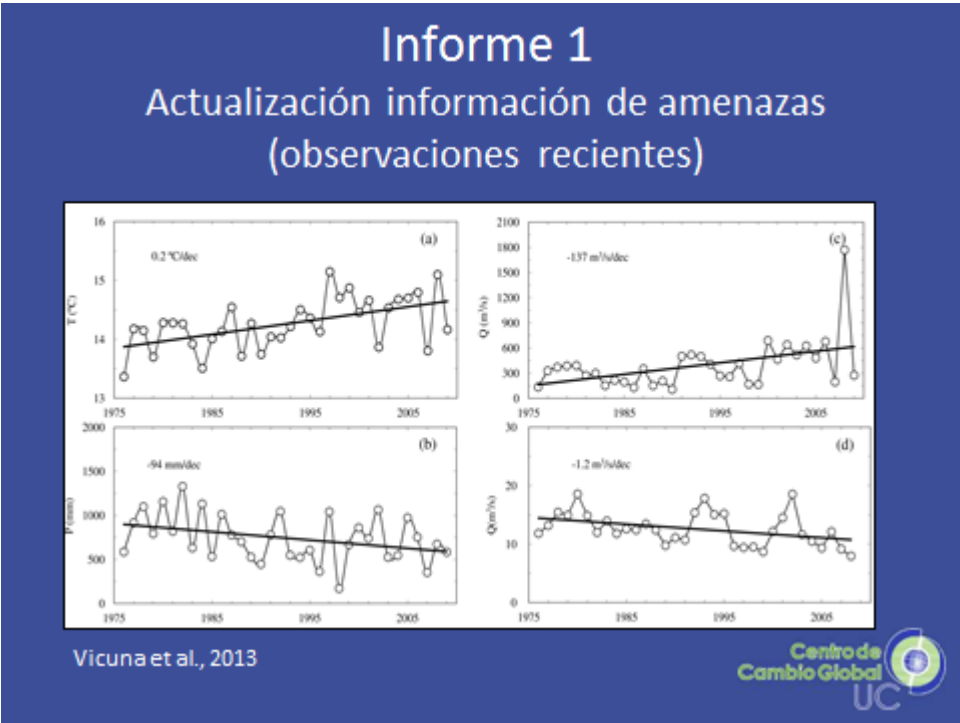
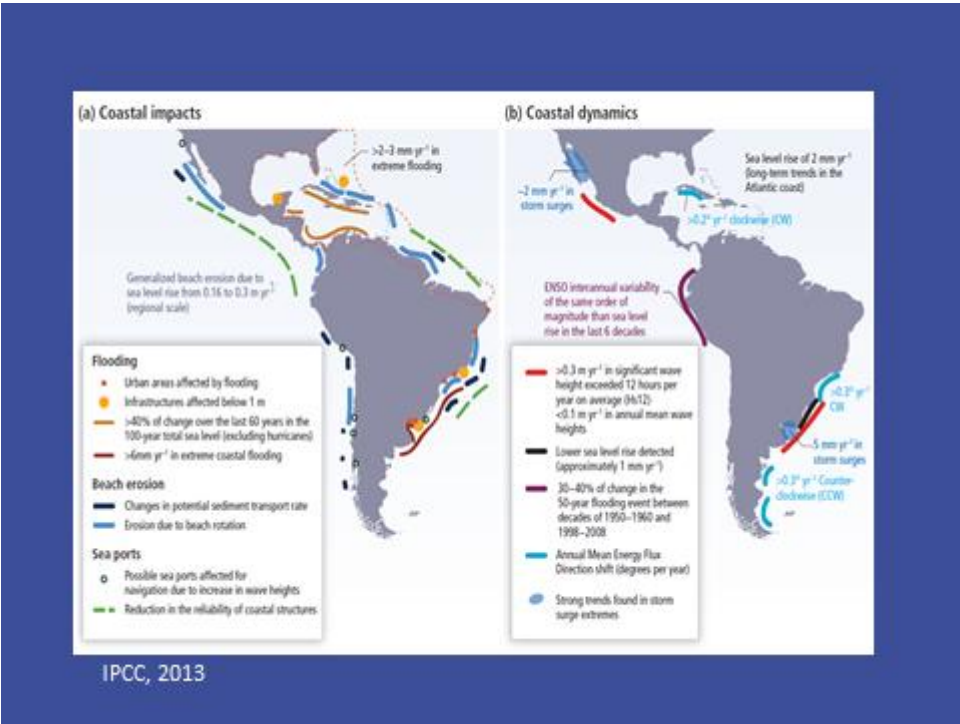
Precipitación anual en la cuenca disminuye (6-14%) acompañado con un aumento de 2-3.5°C a finales del siglo XXI.

Demaria et al, 2013

### Elevación media mundial del nivel del mar



IPCC, 2013





# Informe 1

## Actualización información de amenazas (observaciones recientes)



# Informe 1

## Actualización información de amenazas (observaciones recientes)

- Marejadas de Julio 2013 dañaron seriamente el refaccionado muelle Maguellines, VII Región
- Problema de diseño? Qué periodo de retorno tuvo el oleaje?



## Reuniones bilaterales

5 Reuniones en las que participaron 10 Divisiones/ Departamentos de 5 Ministerios

Asistentes de Organismos Públicos a Reuniones Bilaterales					
Políticas públicas e inversión = 8	10 de Sept., 2 de Oct	1	Ministerio Desarrollo Social		
		1	DIRPLAN		
		1	DGOP (desastre)		
		1	DGA		
		2	ONEMI		
		2	ONEMI		
		1	MMA		
		1	DGOP		
		Amenaza costera = 4	8 de Sept	4	DOP
				4	DOP
4	DOP				
4	DOP				
Amenaza escasez de agua = 5	2 de Oct	1	SEMAT - DGOP		
		2	DOH-riego		
		2	DOH-riego		
		2	CNR		
		2	CNR		
		2	CNR		
Amenaza por exceso de agua = 8	9 de Sept	2	DOH - Obras Fluviales		
		2	DOH - Obras Fluviales		
		2	DOH-DCyDU		
		2	DOH-DCyDU		
		3	DV		
		3	DV		
		3	DV		
		1	MMA		

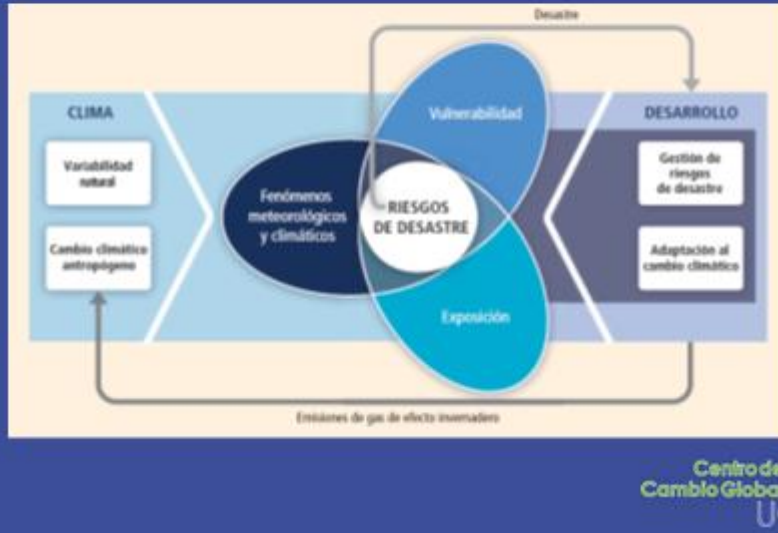
## Reuniones bilaterales

### Temas tratados

- Marco conceptual
- Enfoque metodológico que nace de estudios anteriores
- Revisión de temas específicos



## Marco conceptual que relaciona adaptación al cambio climático, gestión de desastres, infraestructura



### ¿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, puertos).

Las amenazas asociadas al cambio climático pueden aumentar la exposición a desastres (sequías, 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)

## Propuesta metodológica



## Recomendaciones a partir de estudios iniciales

- A. Aplicar metodología propuesta para decidir qué tipo de obras pueden requerir de un análisis de impactos de cambio climático
- B. Desarrollar metodología específica en casos particulares
- C. Mejorar sistemas de monitoreo de amenazas y vulnerabilidad
- D. Promover discusión interministerial relativa a la incorporación del cambio climático en el proceso de decisión de obras de infraestructura.

## Recomendaciones a partir de estudios iniciales

- A. Aplicar metodología propuesta para decidir qué tipo de obras pueden requerir de un análisis de impactos de cambio climático
- B. Desarrollar metodología específica en casos particulares
- C. Mejorar sistemas de monitoreo de amenazas y vulnerabilidad
- D. Promover discusión interministerial relativa a la incorporación del cambio climático en el proceso de decisión de obras de infraestructura.

## Nuevas metodologías: Enfoque actual

- Supuesto de estacionaridad en análisis de frecuencia y distribuciones de probabilidad para definir:
  - Lluvias de diseño, modelación lluvia-escorrentía, cálculo hidráulicos
  - Clima de oleaje
  - Caudales afluentes a sitios de emplazamiento de embalses
- Análisis de eventos (a diferencia de series continuas)

## Nuevas metodologías

### Dos caminos posibles:

- Bajo costo relativo : Análisis de tendencias en base a información disponible (revisar y mejorar instructivos actuales). Uso de funciones de distribución con parámetros variables en el tiempo dependientes de la tendencia.
- Mayor costo relativo : Estudios prospectivos incorporando escenarios de cambio climático futuro (implementación de nuevos métodos de modelación).

## Mejoras en el monitoreo

- Varios ejemplos:
  - Medición de variables hidrometeorológicas en altura
  - Monitoreo y disposición en línea de caudales extremos
  - Mejorar la cobertura de monitero en costas tanto a nivel espacial como temporal
  - Atribución y forzantes complementarios: movimientos co-sísmicos, uso de suelo, patrón cultivos

## Elementos transversales/políticas publicas

- Relación cambio climático y desastres
- Consideración del largo plazo en inversión publica



## Temario

- Avances del proyecto
- Síntesis reuniones bilaterales
- **Preparación trabajo en grupos**





## D. Taller Final - Resultados

El Taller Final comenzó con la presentación de los Resultados del Estudio, partiendo desde el Marco Conceptual, las líneas de acción y finalmente las medidas y propuestas de ejecución.

En el Marco Conceptual se hizo hincapié en que los *servicios de infraestructura* son la clave, así como lo revela la Misión del MOP: “Recuperar, fortalecer y avanzar en la provisión y gestión de obras y servicios de infraestructura para la conectividad, la protección del territorio y las personas, la edificación pública y el aprovechamiento óptimo de los recursos hídricos; asegurando la provisión y cuidado de los recursos hídricos y del medio ambiente, para contribuir en el desarrollo económico, social y cultural, promoviendo la equidad, calidad de vida e igualdad de oportunidades de las personas”. En este contexto el cambio climático puede crear nuevas necesidades que requieran servicios de infraestructura o alterar la operación de servicios existentes.

Se discuten las líneas de acción para Adaptar los servicios de infraestructura frente a las necesidades/oportunidades que presenta el cambio climático, siendo ellas las siguientes:

1. Coordinación intra e interministerial
2. Mejorar los sistemas de monitoreo de amenazas
3. Mejorar los sistemas de monitoreo de vulnerabilidad de servicios de infraestructura existentes
4. Avanzar en el desarrollo de metodologías específicas para poder incorporar el cambio climático en la planificación de obras de infraestructura

Se presenta una propuesta metodológica revisada en materia del ciclo de vida de las obras de infraestructura que prestan los servicios, para incorporar el cambio climático en las diferentes etapas.

Finalmente se muestran las observaciones generales surgidas de la revisión interna del MOP al informe anterior, y se da el inicio a las mesas de trabajo para abordar cada una de ellas de manera específica.





**Ilustración 7 Foto Mesas de Trabajo Taller Final Intersectorial**

## **1. Amenaza por escasez del recurso hídrico**

En esta mesa de trabajo los principales temas fueron la necesidad de elaborar un sistema de recopilación y sistematización de datos por parte de la DGA, se abordaron temas de costos y se discutieron otras observaciones

Con la ayuda de la Unidad de Glaciología y Nieves de la DGA se realizó una discusión en cuanto al monitoreo de glaciares, requerimiento de estaciones, procedimientos para monitoreo y finalmente costos de implementación, operación y mantención.

Luego se generó una discusión en torno a la necesidad de crear un acopiador de datos, en donde se puedan tomar aportes no solo de las estaciones DGA, sino también de aquellas estaciones que cuenten con la calidad adecuada y puedan ser un aporte para la generación de datos y el mejoramiento del monitoreo.

Para lo anterior, se planteó la siguiente metodología:

- Generar los cambios administrativos y/o legales para que la DGA, CNR, DOH, puedan requerir los datos generados por asociaciones privadas que fueron financiados por el Estado.



- Determinar todas las fuentes de información hidroclimática (universidades, centros de investigación, empresas privadas, asociación de canalistas, etc) que permitan aumentar la disponibilidad de datos generados para la DGA.
- Diseñar e implementar un sistema on-line para acopiar los datos generados.
- Mejorar en forma importante la capacidad para procesamiento de datos por parte de la DGA.

Con respecto al monitoreo de nieves, se discute sobre la necesidad de sumar tecnología a través de imágenes satelitales, sensores remotos, etc. Se hace hincapié en que para poder lograr ese objetivo, hay una falta de recursos, especialmente destinados a mejorar la coordinación y los equipos tecnológicos.

Actualmente los comités administrativos de las APR son los encargados de monitorear los caudales y las variables pluviométricas que los competen. Sin embargo, carecen de un sistema de financiamiento formal, que les permita hacer esto de una forma segura. Se sugiere pedir un financiamiento formal al Estado, generar nueva información e incorporarla a las bases de datos de la DGA.

## 2. Amenaza por Inundaciones Fluviales

En cuanto a las observaciones surgidas del informe anterior, se pidió la incorporación de cambios metodológicos, teniendo en cuenta que medidas de mejoras referidas a monitoreo por ejemplo, se piensan a más largo plazo e implican la necesidad de revisar lo que existe actualmente. Con respecto a eso, una medida concreta que surge es la Incorporación de cambios metodológicos para incorporar estimación de crecidas en contextos no estacionarios, incorporando de manera explícita la capacitación sobre la actualización de los métodos.

Otro punto importante es la idea de Incluir un catastro - revisión periódica - de obras fluviales, de drenaje y viales (puente) y de metodologías de modelamiento y diseño, esto también aborda el tema de la falta de medidas a corto plazo, pues una observación importante era que se considera que las medidas presentadas en el informe anterior apuntan al largo plazo y que hicieron falta recomendaciones a corto plazo de manera de poder pensar en proyectos que se encuentran en curso. Ejemplo: SEGUIMIENTO DE OBRAS: 1. Catastro inicial, 2. Seguimiento (visitas periódicas cada año por ejemplo), 3. Visita asociada a eventos extremos.

Existen otros avances en la línea de las señales de alerta de corto plazo en caso de superarse ciertos umbrales críticos, lo que se relaciona con la Gestión de Desastres (Objetivo de medir caudal extremo: mejorar modelos, conocimiento y metodologías empleadas vs sistemas de alerta (en este caso apunta a lo primero dado lo complejo de generar sistemas de alerta). Respuesta a observación, alternativa a problemas por transmisión satelital: interpolación de datos de precipitación. Alternativa: observación directa, transmisión radio, GPRS (estabilidad de antenas de celulares). Incluir alternativa de comunicación por sistema GPRS, teniendo en cuenta que puede ser más estable frente a condiciones meteorológicas extremas.

La clave del monitoreo con esta mirada es lograr un registro sistemático de la información crítica con finalidad tanto de emergencia como a largo plazo (relacionado al Cambio Climático)

### 3. Amenaza por Inundaciones Costeras

Con respecto a la Información, se genera la necesidad de disponibilidad, accesibilidad y ajuste a escala que permita aplicarla. Para lograr obtener la información, se deben recurrir en ciertos costos que se discuten en la mesa, ello son: Costo de adaptación, re definición (el CC demanda necesidad de Adaptarse y no necesariamente va a significar oportunidades); Costos ambientales producto de efectos del CC; Costo del instrumento: no solo de la boya sino que es pensar en todos los costos ambientales, la boya no va a ser la solución a la problemática en particular. Propuestas sistema de monitoreo: mínimo para considerar registro de datos. “Ponerse al día”, falta pensar en la evaluación específica en todos los sectores que se verían afectados

En cuanto a la Coordinación Interministerial, se sugiere que dentro del Estado se incorporen metas en convenios de desempeño. Analizar la alternativa de que la administración de la información y puesta a disposición de datos de ADCPs esté a cargo de la DOP/SHOA.

A modo de comentarios específicos se especificó la importancia de la diferenciación entre obras de prevención/protección y adaptación para resguardar niveles de servicio que pueden ser críticos, sobre todo en el tema conectividad austral (caso de la DOP).

Finalmente, se debe hacer una evaluación de beneficios sociales y económicos de las medidas propuestas. Realizar estudios específicos e impactos del cambio climático a nivel local y así identificar los costos asociados. Con respecto a medidas específicas de adaptación, es necesario sensibilizar a hacienda para financiarlas.

### 4. Inversión y Política Pública

En cuanto a la inclusión del cambio climático en la Plataforma Nacional de reducción del riesgo de desastre (RRD) que coordina ONEMI, ya hay sincronía y alineación a este respecto, y ONEMI manifiesta que la plataforma si incluye ya algunos aspectos de Cambio Climático. Sin embargo todavía deben buscarse los medios a través de los cuales pueda haber un traspaso de información entre la Plataforma y el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático.

Por otro lado, hay un acuerdo en que debe haber homologación de conceptos, en donde haya una coordinación entre ONEMI, MMA Y MOP para que no hayan definiciones distintas, y , si es que las hay, entender a qué se está refiriendo cada uno de los servicios.

En este sentido, hay un acuerdo en cuanto a que la clave para coordinar eso es el MMA, el cual tendrá a cargo la articulación y homologación de la información, pero los tres servicios (ONEMI, MMA y MOP) son co-responsables.

Con respecto a la Coordinación con el Plan Nacional de Adaptación y Planes Sectoriales de Adaptación, se sugiere que esta medida considere un elemento adicional, que sería la incorporación de discusión intraministerial, específicamente del MOP, incluyendo en este elemento las 5 direcciones a cargo del MOP (reconociendo la “sinergia” que se produce entre ellas) y además quizás la “bajada” regional del tema. Para esto se propone a la SEMAT como responsable. Nace de esta discusión la idea de una nueva medida que sea de coordinación *intra* ministerial

Finalmente, en cuanto a la incorporación de cambios metodológicos en la evaluación económica y social de obras de infraestructura con perspectivas de largo plazo, se hace la salvedad respecto a que esta medida parte de la base de que NO todos los proyectos deben incorporar Cambio Climático. La medida contiene 2 elementos principales:

1. Tasas de descuento decrecientes, las cuales el MDS, específicamente el Departamento de Metodologías, ya considera para evaluaciones futuras, circunscritas a proyectos de infraestructura.
2. Horizonte de vida de cada proyecto; para que valga la pena la inclusión del Cambio Climático, se considera trabajar con proyectos de largo plazo (> 30 años)

Se sugiere que se “acote” la medida a la propuesta que aparece en el flujograma del estudio anterior, para determinar qué proyectos debiesen incluir en su planificación al Cambio Climático. En este sentido, el responsable sería el MDS, en conjunto con el MOP, que hace entrega de los antecedentes técnicos para que se produzcan los cambios metodológicos propuestos para la obtención del RS. También ONEMI es co-responsable.

En cuanto al costo de esta medida, se sugiere “condicionarlo”, dependiendo de la disponibilidad de información que exista. Si hay estudios de casos anteriores, que signifiquen ya un avance respecto a la generación de información nueva, entonces los costos son menores (30 millones). De lo contrario, los costos pueden encarecerse.

## E. Presentación Taller Final - Resultados

# Propuesta de un portafolio de medidas para elaborar el plan de adaptación al cambio climático para la infraestructura



Sebastian Vicuña

Taller interministerial

2 de Diciembre, 2014



## Temario

- Recapitulación objetivos y actividades del proyecto
- Presentación propuesta
  - Marco conceptual
  - Líneas de acción
  - Propuesta de ejecución
- Discusión de comentarios generales
- Discusión de medidas en trabajo grupal



## Objetivos y alcances del proyecto

- **Objetivo general:**
  - Elaborar una propuesta de Portafolio para el “Plan de Adaptación al Cambio Climático para la Infraestructura”
- **Objetivos específicos:**
  - Identificar las unidades del MOP, cuyo trabajo se verá afectado debido a los impactos que el cambio climático.
  - Identificar los organismos, además del Ministerio de Obras Públicas, que comparten ámbitos de acción y que requerirán coordinación con las unidades de trabajo del MOP para la implementación de acciones de adaptación al cambio climático
  - Identificar líneas de acción y medidas específicas para la adaptación del sector al cambio climático. Priorizar dichas medidas



## Equipos de trabajo

Sebastián Vicuña	Director de Proyecto
Guillermo Donoso	Inversión pública infraestructura
Francisco Meza	Obras de riego
Jorge Gironás	Obras viales, de drenaje y manejo de cauces
Rodrigo Cienfuegos	Obras portuarias
Pilar Lapuente	Coordinador de proyecto
Manuela Penas, Paula Ahumada y Max Letelier	Apoyo

# Metodología de trabajo

- Catastro de estudios previos
- Identificar líneas de acción
- Identificación de organismos involucrados en llevar a cabo líneas de acción y medidas específicas
- Proceso de entrevistas al interior del MOP
- Talleres de trabajo de discusión interministerial
- Estimación de Costos
- Portafolio de medidas de adaptación

## Reuniones bilaterales

5 Reuniones en las que participaron 10 Divisiones/ Departamentos de 5 Ministerios

Asistentes de Organismos Públicos a Reuniones Bilaterales					
Políticas públicas e inversión = 8	10 de Sept. 2 de Oct	1	Ministerio Desarrollo Social		
		1	DIRPLAN		
		1	DGOP (desastre)		
		1	DGA		
		2	ONEMI		
		2	ONEMI		
		1	MMA		
		1	DGOP		
		Amenaza costera = 4	8 de Sept	4	DOP
				4	DOP
4	DOP				
4	DOP				
Amenaza escasez de agua = 5	2 de Oct	1	SEMAT - DGOP		
		2	DOH-riego		
		2	DOH-riego		
		2	CNR		
		2	CNR		
		Amenaza por exceso de agua = 8	9 de Sept	2	DOH - Obras Fluviales
2	DOH - Obras Fluviales				
2	DOH-DCyDU				
2	DOH-DCyDU				
3	DV				
3	DV				
3	DV				
1	MMA				

## Reuniones bilaterales

### Temas tratados

- Marco conceptual
- Enfoque metodológico que nace de estudios anteriores
- Revisión de temas específicos



## Hitos principales

Inicio	1 de Agosto
Entrevistas MOP	Reunión grupal 26 de Agosto y reuniones bilaterales primeras semanas de Septiembre
Informe 1	16 de Septiembre
Taller intersectorial 1	Viernes 10 Octubre
Informe 2	5 de Noviembre
Taller intersectorial 2	2 de Diciembre



## Temario

- Recapitulación objetivos y actividades del proyecto
- **Presentación propuesta**
  - Marco conceptual
  - Líneas de acción
  - Propuesta de ejecución
- Discusión de comentarios generales
- Discusión de medidas en trabajo grupal



## Marco conceptual

- Los servicios de infraestructura son la clave

### Misión del MOP

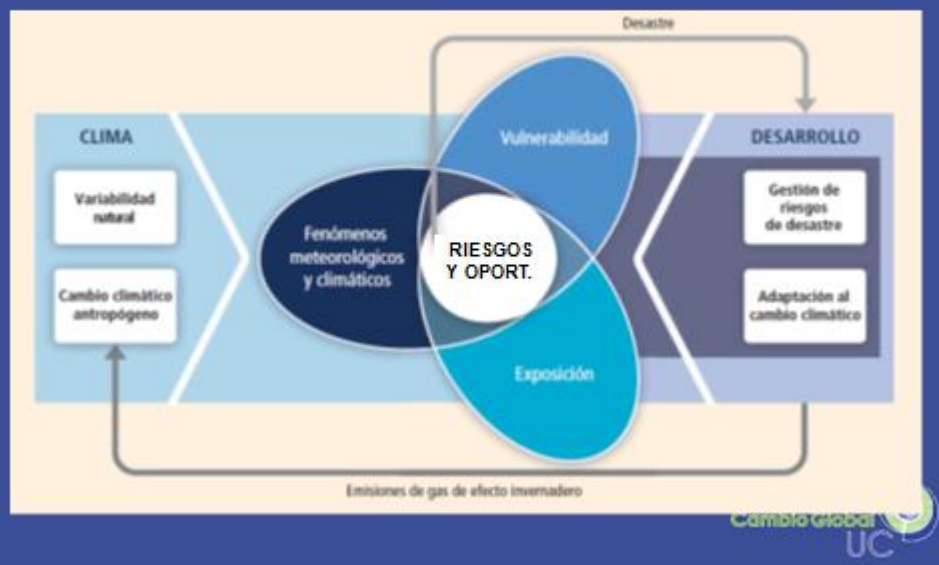
*Recuperar, fortalecer y avanzar en la provisión y gestión de **obras y servicios de infraestructura** para la **conectividad**, la **protección del territorio y las personas**, la **edificación pública** y el **aprovechamiento óptimo de los recursos hídricos**; asegurando la provisión y cuidado de los recursos hídricos y del medio ambiente, para **contribuir en el desarrollo económico, social y cultural**, promoviendo la **equidad, calidad de vida e igualdad de oportunidades de las personas**.*



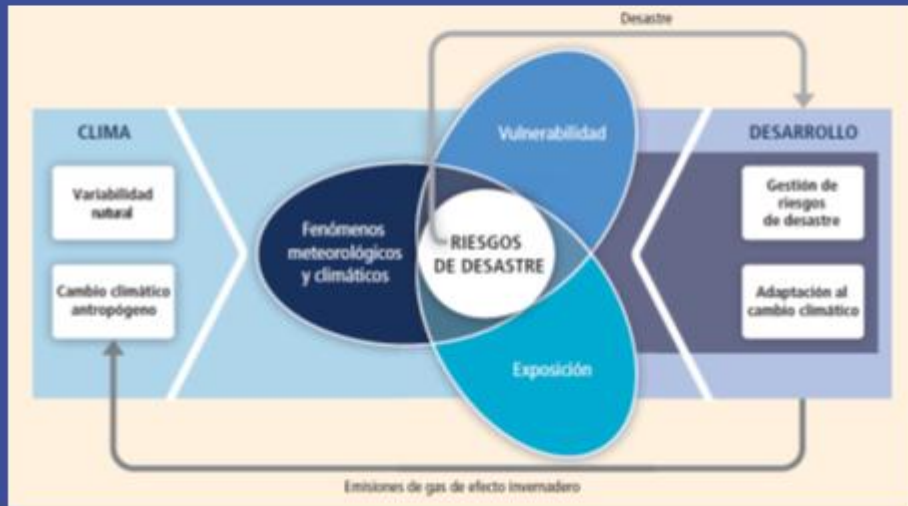
# Marco conceptual

- Los servicios de infraestructura son la clave
- El cambio climático puede crear nuevas necesidades que requieran servicios de infraestructura o alterar la operación de servicios existentes

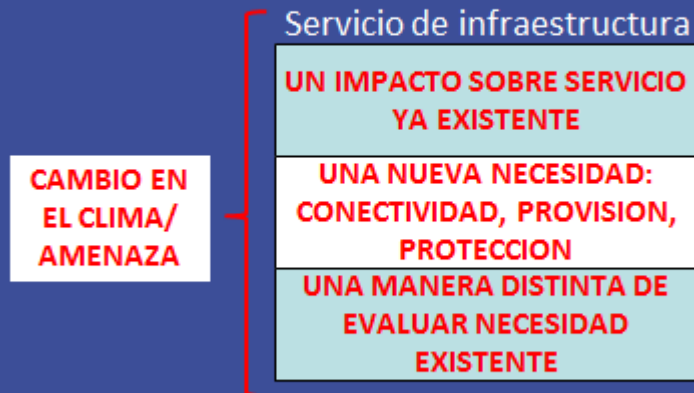
## Marco conceptual (IPCC, 2012, 2014)



## Marco conceptual (IPCC, 2012, 2014)



## Marco conceptual REVISADO



## Marco conceptual

- Los servicios de infraestructura son la clave
- El cambio climático puede crear nuevas necesidades que requieran servicios de infraestructura o alterar la operación de servicios existentes
- Objetivo general del Plan de Adaptación:

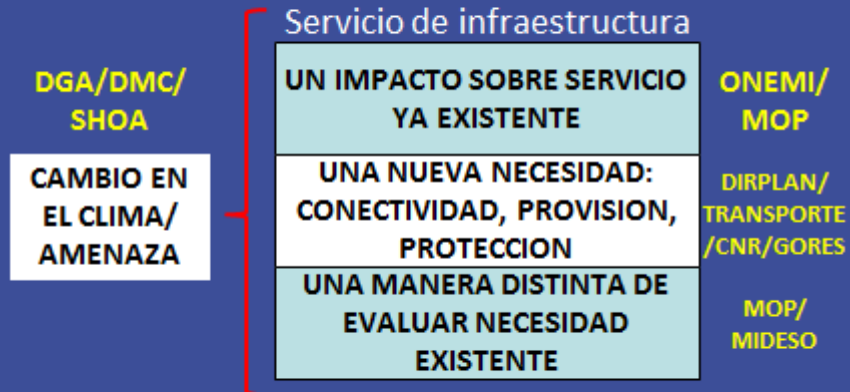
***Adaptar los servicios de infraestructura al cambio climático***

## Líneas de acción

1. Coordinación intra e interministerial

*MEDIDA 1. Coordinación con Plan Nacional de Adaptación y Planes Sectoriales de Adaptación*

MOP debiese ser la institución responsable pero no la única...



## Líneas de acción

### 1. Coordinación intra e interministerial

*MEDIDA 1. Coordinación con Plan Nacional de Adaptación y Planes Sectoriales de Adaptación*



## Líneas de acción

### 1. Coordinación intra e interministerial

*MEDIDA 2. Inclusión del cambio climático en Plataforma Nacional de reducción del riesgo de desastre (RRD) que coordina ONEMI*



## Líneas de acción

### 2. Mejorar los sistemas de monitoreo de amenazas

*¿Cuales son las amenazas del cambio climático más probables en Chile?*



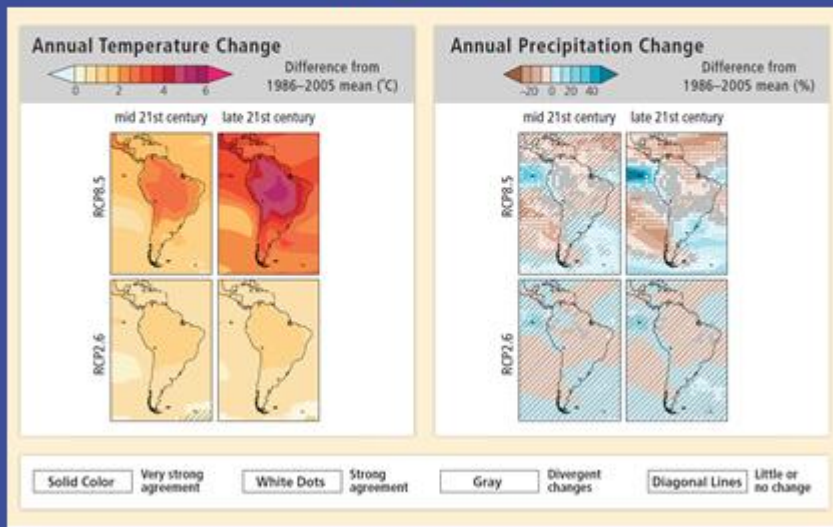
# Informe 1

## Actualización información de amenazas (IPCC-AR5)



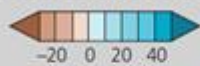
# Informe 1

## Actualización información de amenazas (IPCC-AR5)



IPCC, 2014

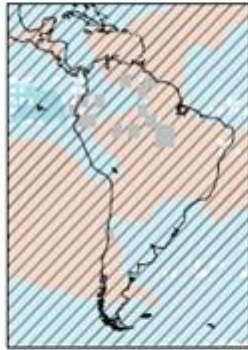
### Annual Precipitation Change



Difference from 1986-2005 mean (%)

mid 21st century

RCP2.6



mid 21st century

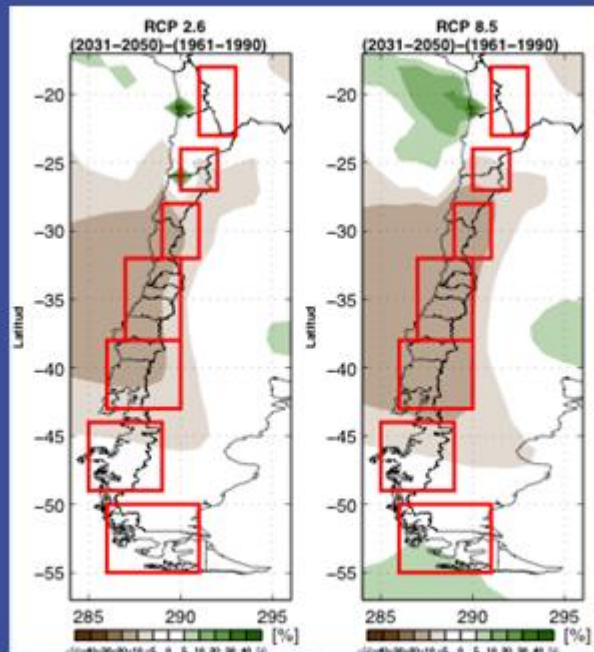
RCP8.5



Solid Color Very strong agreement  
Gray Divergent changes

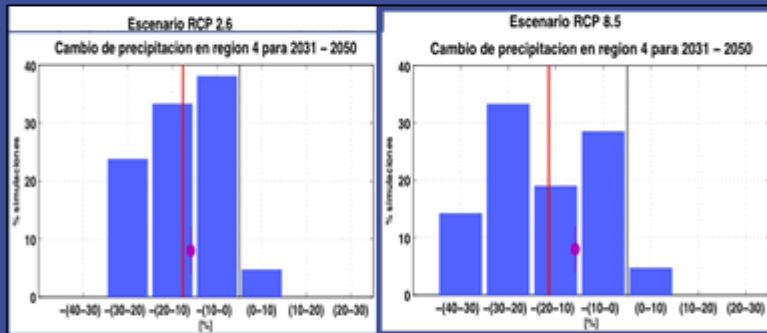
White Dots Strong agreement  
Diagonal Lines Little or no change

IPCC, 2014



Rojas, 2013





Rojas, 2013

## Escenarios en cuenca del río Mataquito

### Tendencia de precipitación

### Tendencia de temperatura

Figura 40.12

Tendencia de precipitación media en la cuenca, simulada mediante GCM

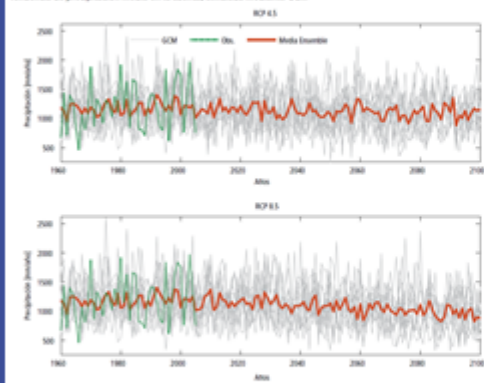
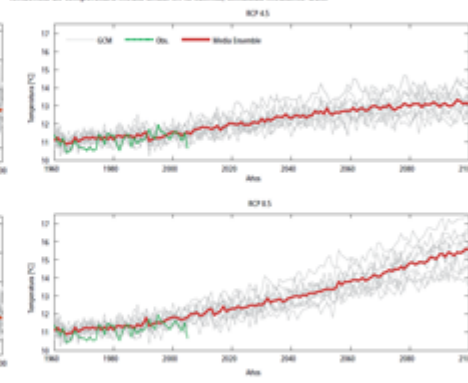


Figura 40.13

Tendencia de temperatura media anual en la cuenca, simulada mediante GCM



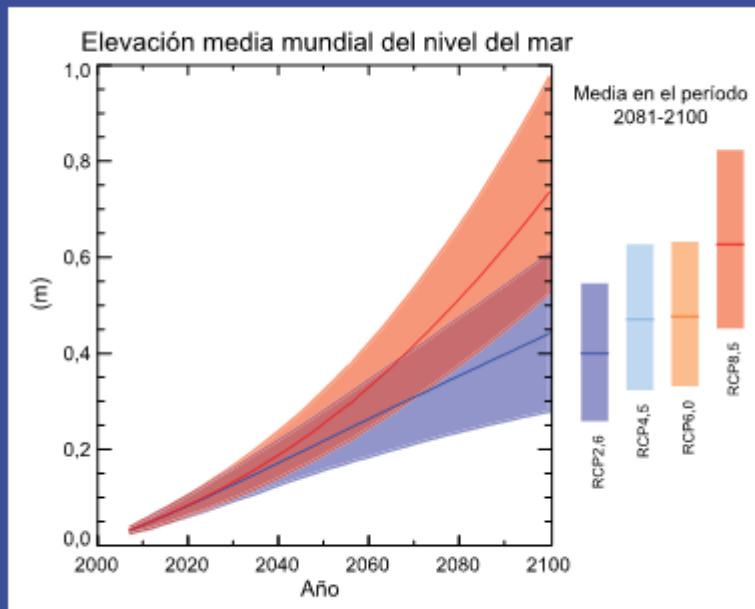
más seco

más cálido

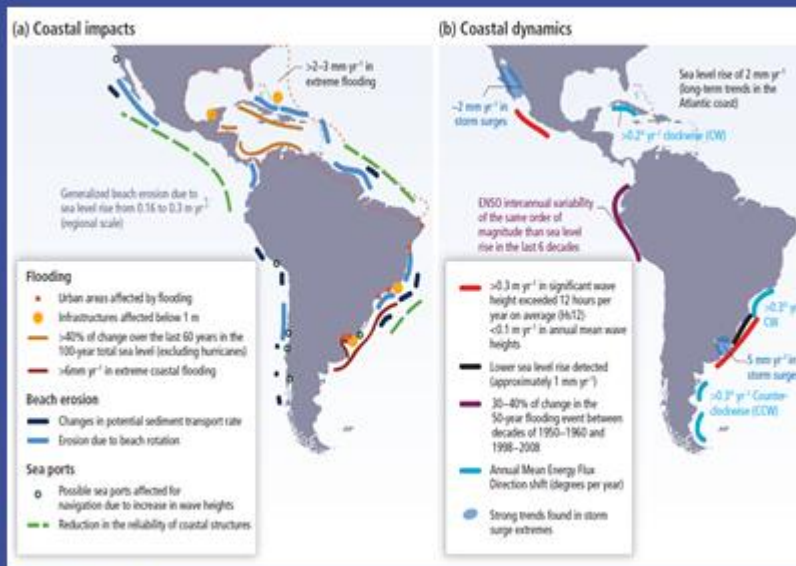
Precipitación anual en la cuenca disminuye (6-14%) acompañado con un aumento de 2-3.5°C a finales del siglo XXI.

Demaria et al, 2013





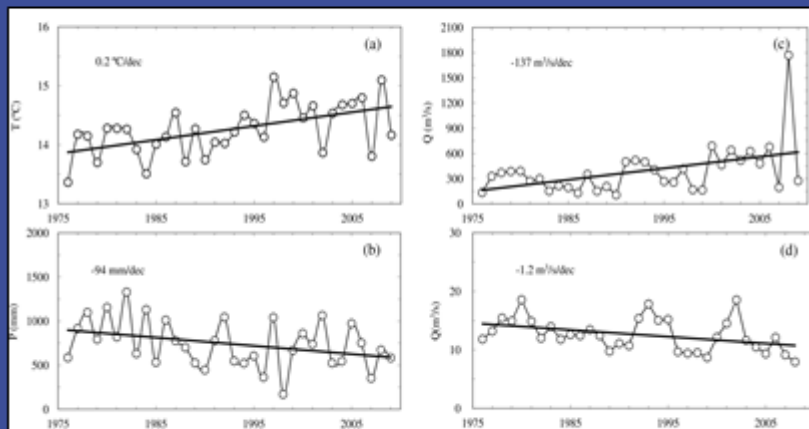
IPCC, 2013



IPCC, 2013

# Informe 1

## Actualización información de amenazas (observaciones recientes)



Vicuna et al., 2013



# Informe 1

## Actualización información de amenazas (observaciones recientes)



# Informe 1

## Actualización información de amenazas (observaciones recientes)

- Marejadas de Julio 2013 dañaron seriamente el refaccionado muelle Maguellines, VII Región
- Problema de diseño? Qué periodo de retorno tuvo el oleaje?



## Líneas de acción

### 2. Mejorar los sistemas de monitoreo de amenazas

Son medidas generales que se pueden priorizar especialmente en virtud de posibles impactos o necesidades del CC

**MEDIDA 3.** *Mejoras en monitoreo en disponibilidad de recursos hídricos:*

*Mejoras en red de monitoreo de meteorología, glaciares, rutas de nieve, caudales*

**MEDIDA 4.** *Mejoras en monitoreo de caudales extremos*

**MEDIDA 5.** *Mejoras en monitoreo de amenazas costeras*

*Red de Observación de Condiciones de Oleaje en Puertos del Estado*

*Red de Observación de Climats de Oleaje en Aguas Profundas*



## Líneas de acción

### 3. Mejorar los sistemas de monitoreo de vulnerabilidad de servicios de infraestructura existentes

#### *MEDIDA 6. Mejoras en monitoreo vulnerabilidad de servicios de infraestructura existentes*

*Monitoreo del servicio de provisión de agua: caudales, extracciones, superficie bajo riego*

*Catastro de estado de operación de obras hidráulicas de drenaje, obra fluvial o puente*

*Monitoreo del Borde Costero*

*Incorporación de un Monitoreo Semi-continuo de Impacto en Obras de Infraestructura costera*



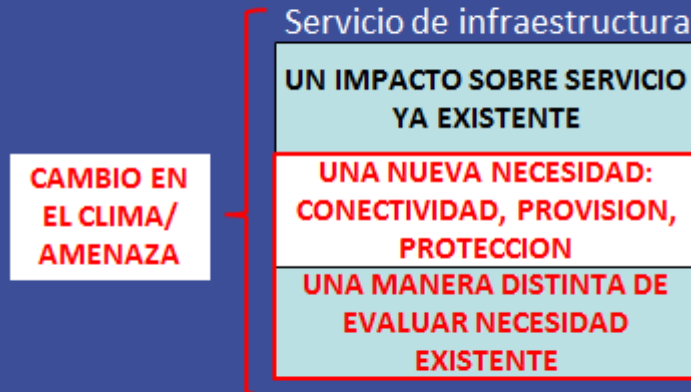
## Líneas de acción

### 4. Avanzar en el desarrollo de metodologías específicas para poder incorporar el cambio climático en la planificación de obras de infraestructura

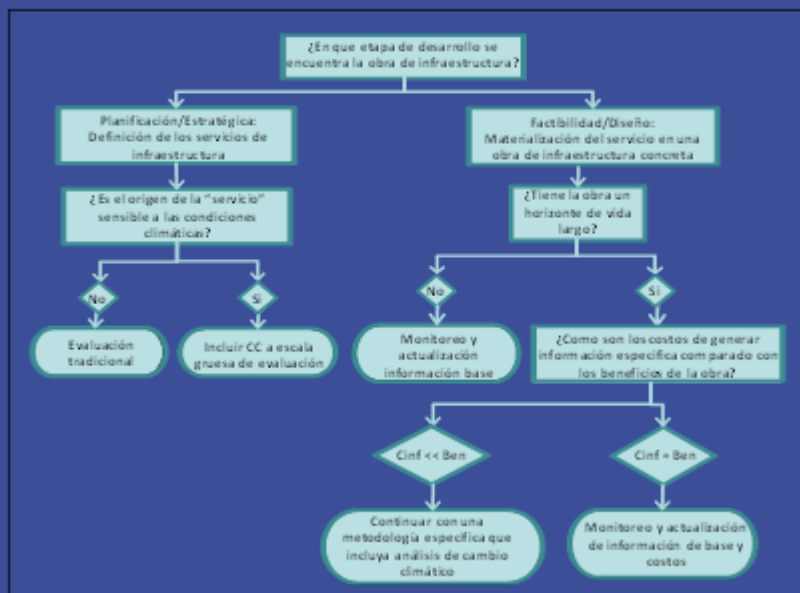
#### **Se debe tener en cuenta:**

- *Etapas y actores involucrados en el desarrollo de obras de infraestructura*
- *Dificultades para generar información relevante en términos de caracterizar amenaza*
- *Periodos de tiempo en que se espera la obra cumpla con su servicio considerado*
- *Valoración económica y social del servicio que provee la obra de infraestructura*

## Marco conceptual REVISADO



## Propuesta metodológica



## Líneas de acción

4. Avanzar en el desarrollo de metodologías específicas para poder incorporar el cambio climático en la planificación de obras de infraestructura

*MEDIDA 7. Incorporación de cambios metodológicos en la evaluación económica de obras de infraestructura con perspectivas de largo plazo*

*MEDIDA 8. Incorporación de cambios metodológicos en las etapas de desarrollo de obras de infraestructura asociadas a la provisión de recursos hídricos: **etapa de planificación y evaluación de obras de riego***

*MEDIDA 9. Incorporación de cambios metodológicos en la etapa de desarrollo de obras de infraestructura asociadas a conectividad y de protección que se pueden ver afectados por eventos extremos de origen hidrometeorológico: **levantamiento de capacidades en modelación y diseño***

*MEDIDA 10. Incorporación de cambios metodológicos en la etapa de desarrollo de obras de infraestructura en zonas costeras: **generación de base de datos y revisión y actualización de normativas y metodologías de análisis estadísticos de series de tiempo***

## Líneas de acción

1. Coordinación intra e interministerial
2. Mejorar los sistemas de monitoreo de amenazas
3. Mejorar los sistemas de monitoreo de vulnerabilidad
4. Avanzar en el desarrollo de metodologías específicas para poder incorporar el cambio climático en la planificación de obras de infraestructura

## Fichas con resumen de medidas

Línea de acción 1: XXXXX		
Nombre Medida	Unidad Responsable	Costo Total (\$)
Descripción Medida		

### Análisis jerárquico para la priorización temporal en la implementación de medidas de adaptación

- No es posible la implementación de todas las medidas de adaptación a la vez
- Hay un orden jerárquico donde los resultados de una línea de acción alimentan los avances de otra
- Se definen tres periodos de tiempo: temprano (próximos 2 años), intermedio (siguientes 5 años), régimen.
- El resultado final de todo el proceso de adaptación serian servicios de infraestructura adaptados al cambio climático



Linea de Accion	Medida de Adaptacion			Resultado esperado
	Etapa temprana: 1-2 años	Etapa intermedia: 3 años	Etapa final: en regimen	
L1: Coordinación interministerial	M1: Coordinación con planes de adaptación			GENERACIÓN INFORMACIÓN PARA L4
	Todas las etapas: Coordinación			
	Etapa 1: Generación y traspaso de información climática	Etapa 2 y 3: Medidas de adaptación complementarias		
	M2: Inclusión del cambio climático en Plataforma Nacional (PNP)			
L2: Mejoras en monitoreo de amenazas	Etapa 1: Homologación de conceptos			GENERACIÓN INFORMACIÓN PARA L3 Y L4
	Etapa 2 y 3: Generación de información sobre amenazas			
	M3: Mejoras en monitoreo de disponibilidad hídrica			
	Etapa 1: Análisis de priorización y diagnóstico ideal	Etapa 2: Inclusión primeras acciones	Etapa 3: Implementación red de monitoreo ideal	
	M4: Mejoras en monitoreo de caudales extremos			GENERACIÓN INFORMACIÓN PARA L3 Y L4
	Etapa 1: Análisis de priorización y diagnóstico ideal	Etapa 2: Inclusión primeras acciones	Etapa 3: Implementación red de monitoreo ideal	
	M5: Mejoras en monitoreo de amenazas costeras			
	Etapa 1: Análisis de priorización y diagnóstico ideal	Etapa 2: Establecimiento primeros instrumentos red de observación en puertos y aguas profundas	Etapa 3: Implementación mejoras metodológicas	

Linea de Accion	Medida de Adaptacion			Resultado esperado
	Etapa temprana: 1-2 años	Etapa intermedia: 3 años	Etapa final: en regimen	
L3: Mejoras en monitoreo vulnerabilidad	M6: Mejoras en Monitoreo Vulnerabilidad Servicios Infraestructura			NUEVAS OBRAS Y CAMBIOS EN OBRAS EXISTENTES E INFORMACIÓN PARA L4
	Etapa 1, 2 y 3: Implementación de mejoras en sistemas de monitoreo de vulnerabilidad de servicios de infraestructura existentes			
L4: Introducción de cambios metodológicos para la evaluación de impactos del cambio climático y medidas de adaptación en obras de infraestructura	M7: Incorporación de cambios metodológicos en la evaluación económica de obras de infraestructura de largo plazo			BASES METODOLÓGICAS PARA MEDIDAS 8, 9 Y 10
	Etapa 1: Actualizar criterios de evaluación de proyectos por parte del MDS	Etapa 2 y 3: Seguimiento a proceso de evaluación de obras de infraestructura con criterios de cambio climático		
	M8: Incorporación de cambios metodológicos en las etapas de desarrollo de obras de infraestructura asociadas a la provisión de recursos hídricos			NUEVAS METODOLÓGICAS, NUEVAS OBRAS Y CAMBIOS EN DISEÑO
	Etapa 1: Exponer input estudios MDS	Etapa 2: Desarrollo mejoras metodológicas	Etapa 3: Implementación nuevas metodologías	
	M9: Incorporación de cambios metodológicos en la etapa de desarrollo de obras de infraestructura asociadas a conectividad y de protección que se pueden ver afectadas por eventos extremos de origen hidrometeorológico			
	Etapa 1: Exponer input estudios MDS	Etapa 2: Desarrollo mejoras metodológicas	Etapa 3: Implementación nuevas metodologías	
M10: Incorporación de cambios metodológicos en la etapa de desarrollo de obras de infraestructura en zonas costeras			NUEVAS METODOLÓGICAS, NUEVAS OBRAS Y CAMBIOS EN DISEÑO	
Etapa 1: Exponer input estudios MDS	Etapa 2: Desarrollo mejoras metodológicas	Etapa 3: Implementación nuevas metodologías		



## Temario

- Recapitulación objetivos y actividades del proyecto
- Presentación propuesta
  - Marco conceptual
  - Líneas de acción
  - Propuesta de ejecución
- **Discusión de comentarios generales**
- Discusión de medidas en trabajo grupal



## Observaciones generales

- Observación 1: En general, el documento hace una propuesta de líneas de acción y medidas de adaptación de las obras de infraestructura al CC. Sin embargo, adolece de un contexto más general que den un sentido a las líneas de acción y medidas específicas. Falta objetivo general y específicos que den coherencia a lo descrito.
- **Objetivo General: mejora la capacidad de adaptación de los servicios de infraestructura en Chile**
- **Objetivos específicos: lograr una correcta coordinación intra e interinstitucional del proceso de adaptación; mejorar los sistemas de monitoreo de amenazas y de vulnerabilidades a servicios de infraestructura; incluir mejoras metodológicas**

## Observaciones generales

- Observación 2: En las medidas planteadas no se visualiza con claridad la opinión/postura tanto de los servicios del MOP como los externos a esta repartición, ello en relación a las medidas propuestas.
- Entendemos que estas observaciones y en parte este taller pueden servir para cumplir ese rol. Es una propuesta a ser modificada en caso de ser necesario.



## Observaciones generales

- Observación 3: Se esperaba que las propuestas planteadas consideraran las conclusiones del Estudio del Marco Estratégico para la Adaptación de la Infraestructura al Cambio Climático (2013), en especial a las recomendaciones derivadas de cada uno de los casos pilotos. En este mismo sentido, sería relevante contar con una mirada más específica respecto de los productos estratégicos de cada Dirección y su vinculación con los impactos de CC y las medidas de adaptación asociadas.
- El contexto general es el mismo. No se entrega información mas detallada en el trabajo de metodologías ya que se prefiere dejar en terreno mas amplio. Si se incluirán recomendaciones practicas

# Temario

- Recapitulación objetivos y actividades del proyecto
- Presentación propuesta
  - Marco conceptual
  - Líneas de acción
  - Propuesta de ejecución
- Discusión de comentarios generales
- **Discusión de medidas en trabajo grupal**



Gracias...



Araucarias En el PN Nahuelbuta