



MANUAL PARA
PROFESIONALES

CLIMA ADAPTACIÓN SANTIAGO



Más Información:

Proyecto: ClimaAdaptaciónSantiago - CAS
 Página web: <http://www.climate-adaptation-santiago.ufz.de/>
 Coordinación: Kerstin Krellenberg, Katrin Barth
 Portavoz: Bernd Hansjürgens

Contacto: Kerstin Krellenberg, kerstin.krellenberg@ufz.de

Publicado por: Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ

Autores: Kerstin Krellenberg (UFZ)*
 Annemarie Müller (UFZ)*
 Juliane Welz (UFZ)*
 Julia Nagel
 Rainer Bräutigam (KIT)**
 Jürgen Kopfmüller (KIT)**
 Helmut Lehn (KIT)**
 Adriana Quintero (KIT)**
 Melanie Örtel (KIT)**
 Laura Simon (KIT)**
 Volker Stelzer (KIT)**

Fotografías: André Künzelmann (UFZ)*
 Annemarie Müller (UFZ)*
 Katrin Barth (UFZ)*

Diseño: Katrin Barth (UFZ)*
 Emiliano Méndez

Agradecemos a Paola Vaconi por su colaboración

Santiago, Leipzig, 10/2012

Socios:

* UFZ = Helmholtz Centre for Environmental Research, Leipzig, Alemania

** KIT = Karlsruhe Institute for Technology, Karlsruhe, Alemania

ÍNDICE

1. Introducción	4
2. Glosario de términos	5
• Marcos y acuerdos internacionales	
• Acrónimos	
3. Mensajes claves	9
• ¿A qué adaptarse?	
• ¿Por qué y cómo adaptarse?	
4. ¿Por qué adaptar la RMS al cambio climático?	14
5. Visión general de cambios climáticos esperados para la RMS	18
6. Visión general de los impactos del cambio climático en la RMS	19
7. Visión general de la planificación de adaptación y los instrumentos de adaptación en la RMS	30
8. Bibliografía	34

Este manual tiene como objetivo informar sobre la situación actual y futura en la Región Metropolitana de Santiago (RMS) respecto al cambio climático, los impactos esperados y fundamentalmente sobre la adaptación necesaria a estos cambios e impactos. Se presenta una visión general de la planificación y los instrumentos de adaptación en la RMS. Con este manual se espera promover mayor conciencia sobre lo que está pasando y lo que pasará con cambio climático en la RMS y la necesidad de actuar en el corto y mediano plazo.

El manual es uno de los resultados claves del proyecto ClimaAdaptaciónSantiago (CAS) financiado entre 12/2009 y 11/2012 por el Ministerio de Medio Ambiente, Ecología y Seguridad Nuclear (BMU) del Gobierno Federal Alemán (Iniciativa Climática Internacional). El objetivo principal del proyecto fue la elaboración de un Plan Regional de Adaptación al cambio climático con medidas concretas para la RMS. Mediante una estrecha cooperación entre investigación científica e implementación política se intentó fortalecer dos áreas para promover un compromiso estatal responsable: (1) la superación de barreras sectoriales y (2) la orientación de políticas frente al cambio climático a largo plazo. La importante colaboración de actores locales de diferentes niveles administrativos y sectores políticos fue una parte fundamental del proyecto.

El manual está dirigido a todo tipo de profesionales y responsables políticos, así como a los diferentes actores que trabajan en asuntos de cambio climático y que necesitan información general sobre la situación actual y futura en relación a este tema en la RMS, así como para aquellas personas que quieren informarse sobre posibles acciones que faciliten la adaptación a los efectos del cambio climático.

El manual dispone de información específica para la adaptación al cambio climático en la RMS. En el capítulo 2 se presentan un glosario con los términos claves respecto a cambio climático y adaptación; luego en el capítulo 3 se abordan los mensajes claves; mientras que en el capítulo 4 se exponen las razones fundamentales por las cuales es importante la adaptación al cambio climático en la RMS. Los capítulos 5 y 6 contienen los resultados principales obtenidos en el marco del proyecto CAS respecto a los cambios climáticos y sus impactos esperados. Y por último, en el capítulo 7 se presenta una visión general de la planificación y los instrumentos de adaptación en la RMS para enfrentar y disminuir los impactos del cambio climático.

CONCEPTOS GENERALES

• ADAPTACIÓN

Ajuste de sistemas naturales y/o humanos en respuesta a los estímulos climáticos actuales o esperados, o sus efectos asociados, que atenúan los efectos perjudiciales o aprovechan las oportunidades beneficiosas. *(Según IPCC, 2001)*

• ADAPTACIÓN PLANIFICADA

Resultado de una decisión política deliberada, basada en la conciencia de que las condiciones han cambiado o están a punto de cambiar y que la acción es necesaria para volver hacia ésta, mantener o alcanzar un estado deseado. *(Según IPCC, 2001)*

• ADAPTACIÓN ANTICIPADA

Adaptación que se lleva a cabo antes de que los impactos del cambio climático sean observados. *(Según IPCC, 2001)*

• ADAPTACIÓN PÚBLICA

Adaptación iniciada y ejecutada por los gobiernos en todos los niveles, normalmente dirigida a satisfacer necesidades colectivas. *(Según IPCC, 2001)*



• CAMBIO CLIMÁTICO

Los cambios en el clima tienen un origen natural y existen desde hace miles de millones de años. Sin embargo, desde hace unos años, estos cambios aumentaron y se dinamizaron, variando sus ciclos naturales. Estos cambios recientes en el clima se atribuyen directa e indirectamente a la actividad humana que está provocando una alteración en la composición de la atmósfera. *(Según Terram & Heinrich Böll Stiftung - Cono Sur: "Cartilla Ciudadana de Cambio Climático - Lo que debemos saber", 2010)*

• CLIMA Y SU VARIABILIDAD

El clima es un sistema complejo que depende de la interrelación entre distintos componentes como: la atmósfera, la vegetación, los océanos, las capas de hielo y la cantidad de energía que recibimos del sol. (Según Terram & Heinrich Böll Stiftung - Cono Sur: "Cartilla Ciudadana de Cambio Climático - Lo que debemos saber", 2010)

• GASES DE EFECTOS INVERNADERO (GEI)

Los GEI son un conjunto de gases que están presentes en la atmósfera y se producen de manera natural en ella. Estos gases son responsables de mantener la temperatura adecuada para la vida en el Planeta. Estos son: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (NO_2), vapor de agua (H_2O), etc. Otros GEI - de origen antrópico (humano) - pueden ser los clorofluorocarbonos, conocidos como sustancias agotadoras de ozono. (Según Terram & Heinrich Böll Stiftung - Cono Sur: "Cartilla Ciudadana de Cambio Climático - Lo que debemos saber", 2010)

• MITIGACIÓN

Intervención antrópica (humana) con el fin de reducir las fuentes o de aumentar los sumideros de los gases de efecto invernadero. (Según IPCC, 2001)

• CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN

Habilidad o potencial de un sistema para responder exitosamente a la variabilidad del cambio climático. (Según IPCC, 2001)

• ESCENARIOS

Los escenarios se utilizan para describir posibles estados o vías de desarrollo futuros alternativos. A diferencia de las predicciones, los escenarios permiten abordar y tratar más adecuadamente las complejidades e incertidumbres inherentes a los procesos de desarrollo.

• VULNERABILIDAD

Por vulnerabilidad se entiende las características de una persona o un grupo desde el punto de vista de su capacidad para anticipar, enfrentar, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza natural. Así, la condición de vulnerabilidad está siempre relacionada con la capacidad de resistencia y las estrategias de superación de las que disponen los afectados para enfrentar amenazas naturales y sus consecuencias.

(Según Wisner et al., 2004)



MARCOS Y ACUERDOS INTERNACIONALES

• **CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (CMNUCC)**

Acuerdo internacional adoptado en mayo de 1992, que busca “estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera, a un nivel que impida interferencias antropogénicas (humana) peligrosas en el sistema climático”. En él se establece el marco general para que los países concentren sus esfuerzos para enfrentar el desafío planteado por el cambio climático. Este convenio cuenta con una afiliación casi universal de los países miembros de las Naciones Unidas. *(Según IPCC, 2001)*

• **FONDO VERDE PARA EL CLIMA**

Fondo creado por países desarrollados, como resultado de la Conferencia de Copenhague, destinado a recaudar US\$ 100 mil millones por año para el 2020, el cual se utilizará para financiar actividades de adaptación y mitigación en países menos desarrollados. *(Según Copenhague Accord, 2009)*

• **MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL)**

Medida específica para mitigar las emisiones y reducir los impactos humanos y los costos económicos del cambio climático, establecido en el artículo 12 del Protocolo de Kyoto. Permite que los países con compromisos de reducir o limitar sus emisiones puedan obtener créditos de reducciones de emisiones verificadas (REV) que son válidos para dar cumplimiento a sus propios compromisos de reducción de emisiones de GEI. *(Naciones Unidas, Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1998): Artículo 12 (<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>) - 15.03.2012)*

• **MECANISMO DE IMPLEMENTACIÓN CONJUNTA**

Medida específica para mitigar las emisiones y reducir los impactos humanos y los costos económicos del cambio climático: permite a un país que tiene compromisos de reducción o limitación de emisiones de GEI bajo el Protocolo de Kyoto, obtener unidades de reducción de emisiones a través de proyectos para la reducción o eliminación de emisiones en otro país. *(Naciones Unidas, Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1998): Artículo 6 (<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>) - 15.03.2012)*

• **PANEL INTERGUBERNAMENTAL DE CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC)**

Establecido en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, World Meteorological Organization) y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP, United Nations Environment Programme). Tiene la misión de agrupar los datos científicos, técnicos y socio-económicos pertinentes con el fin de conocer los riesgos del cambio climático ligados a las actividades humanas. También formula y evalúa las estrategias posibles de prevención y adaptación. *(Según Terram & Heinrich Böll Stiftung - Cono Sur: “Cartilla Ciudadana de Cambio Climático - Lo que debemos saber”, 2010)*

• PROTOCOLO DE KYOTO

Es un acuerdo internacional que establece metas legalmente vinculantes para 37 países industrializados y la Unión Europea, quienes acordaron la reducción de sus emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero en al menos un 5 por ciento por debajo de los niveles en 1990 durante el período de compromiso de 2008 al 2012. Este protocolo fue aprobado en diciembre de 1997 y entró en vigencia en febrero de 2005.

ACRÓNIMOS

• C40

Grupo de Ciudades de Liderazgo Climático, fundado en 2005. www.c40cities.org

• CNUMAD

Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo - también conocida como la Cumbre de Tierra o la Conferencia de Río. <http://www.un.org/depts/dhl/spanish/resguids/specenvsp.htm>

• COFIVI

El índice de Condiciones Físicas de Vivienda (COFIVI) está formado por los siguientes indicadores asociados a la vivienda: materiales de construcción del techo, de las paredes y del piso, así como el acceso a agua potable y a WC/baño. El COFIVI consta de cinco clases. La clase COFIVI-I se refiere a condiciones físicas de viviendas más estables y de alto valor, mientras que la clase COFIVI-V representa condiciones más inestables y precarias. (Según Krellenberg et al., forthcoming)

• GSE

Clasificación de los Grupos Socio Económicos (GSE) la cual se basa en los siguientes indicadores: nivel educacional del jefe de hogar y posesión de una batería de diez bienes del hogar. En total, se distinguen cinco clases de GSE (ABC1, C2, C3, D, E), donde el ABC1 representa al estrato socioeconómico más alto. (Según Sabatini et al., 2010)

• ICLEI (INTERNATIONAL COUNCIL FOR LOCAL ENVIRONMENTAL INITIATIVES)

Red de Gobiernos Locales para la Sustentabilidad. www.iclei.org

• CMNUCC (CONVENCIÓN MARCO DE NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO)- UNFCCC (UNITED NATIONS FRAMEWORK COVENTION ON CLIMATE CHANGE)

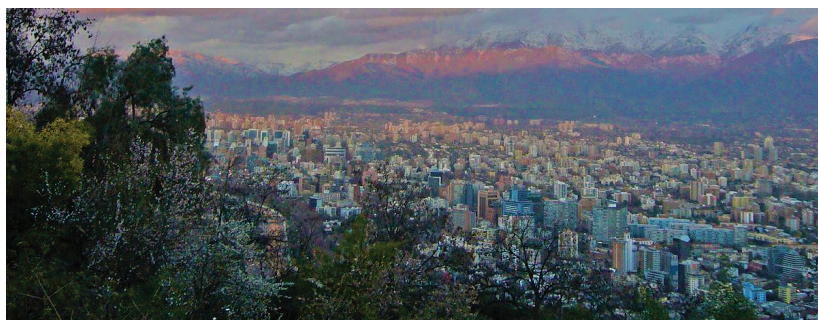
Secretaría de la Convención sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas. www.unfccc.int

¿A QUÉ ADAPTARSE?

El cambio climático es uno de los principales desafíos a los que se enfrenta el mundo en la actualidad. Existen dos respuestas generales frente a los impactos del cambio climático: la mitigación y la adaptación. Históricamente los esfuerzos se han concentrado en la mitigación, sin embargo en el último tiempo se nota un creciente interés en la adaptación como respuesta al cambio climático. Sabiendo que los acuerdos al nivel supranacional e internacional marcan un papel clave para formular y desarrollar acciones en el país, es al nivel local y regional dónde hay que implementar respuestas que promuevan la adaptación al cambio climático.

EL FENÓMENO CAMBIO CLIMÁTICO

Actualmente existe consenso en que el cambio climático global es inevitable. En el Cuarto Informe de evaluación del IPCC en el 2007, se afirma la posibilidad de que los cambios en el clima global sean mayormente causados por actividades humanas. Los efectos de este fenómeno se manifiestan, entre otros, en la subida del nivel del mar, fenómenos meteorológicos extremos, cambios de temperaturas y en los patrones de precipitación. Se espera que los efectos del cambio climático global se intensifiquen hacia fines de este siglo (Stern, 2007).



EL PAPEL DE LAS ZONAS URBANAS

En tiempos en los que casi la mitad de la población mundial vive en zonas urbanas (Rosenzweig y Wilibanks, 2010, 104-115), las ciudades son fundamentales para la formulación e implementación de planes de adaptación que resulten eficaces y realistas. Muchas ciudades en el mundo ya han percibido la importancia de actuar más pronto que tarde, ya que los costos de no actuar son superiores a los costos de los mecanismos de adaptación y estrategias oportunas. Cuando se trata de medidas de adaptación, para reaccionar de manera adecuada a los impactos del cambio climático y sus correspondientes efectos en los sistemas sociales, económicos y naturales, es importante tener en cuenta que depende fundamentalmente de la capacidad de adaptación de las ciudades, es decir, de sus actores claves.

Debido a la alta concentración económica, industrial, etc., las ciudades son uno de los mayores causantes del cambio climático. Por lo tanto, éstas se ven especialmente afectadas por los impactos del cambio climático. Las áreas urbanas están experimentando un estrés ambiental debido a la necesidad de asegurar servicios básicos a una población creciente (Satterthwaite et. al., 2007). Las ciudades experimentan un alto grado de vulnerabilidad por la concentración poblacional e infraestructural. La enorme importancia de las ciudades para las economías nacionales y mundiales implica que la planificación de la adaptación urbana se convierte en uno de los retos más importantes que enfrenta la sociedad frente al cambio climático global. Consecuentemente, las ciudades son a la vez amenazadas por el cambio climático, ya que se ven directamente afectadas por este. Como resultado, se recomienda formular políticas de adaptación a nivel local.



EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

En general, se espera que los efectos más probables del cambio climático dentro de las ciudades generen una presión desproporcionada sobre los sistemas de alcantarillado y el suministro de agua potable, sobre los sistemas de energía y la necesidad de una producción suficiente de energía para abastecer una creciente demanda (ECLAC, 2009; IPCC, 2007; Stern, 2007). También habrá mayor presión sobre los servicios de salud y los asentamientos humanos, especialmente entre los segmentos más pobres de la sociedad que a menudo están en situación de riesgo y son menos capaces de enfrentarse a las consecuencias de los fenómenos meteorológicos extremos y otros impactos del cambio climático, como por ejemplo la escasez de agua (Adger et al., 2003; Stern, 2007; Satterthwaite et al., 2007; UNDP, 2007).

Estos efectos del cambio climático global no excluyen a América Latina. De hecho, muchos de ellos, tales como el aumento de las temperaturas medias, de la frecuencia e intensidad de inundaciones y sequías, ya han sido observados en varios países de la región. Adicionalmente, estos efectos conllevan otras consecuencias: en algunas ocasiones podrían amenazar asentamientos humanos; a modo de ejemplo, mientras las inundaciones pueden arrasar la infraestructura de ciudades, las sequías representan sobre todo un peligro muy importante para la agricultura. Otro efecto sería la disminución de agua potable disponible y probablemente una degradación de su calidad. Las zonas costeras se verían afectadas por el aumento del nivel del mar, que podría impactar el turismo y la construcción de edificios

e infraestructura a lo largo del borde costero. Además de los efectos destructivos de los fenómenos del cambio climático, éstos generan costos económicos crecientes y amenazan el bienestar de la población (Stern, 2007).

En la actualidad la comprensión científica sobre el cambio climático ha aumentado de manera significativa y los modelos climáticos son más sofisticados y capaces de predecir los efectos e impactos específicos que provocará este fenómeno. Esto ha producido un repunte en el interés de planificar la adaptación a estos cambios. En este contexto es importante señalar que los impactos del cambio climático no llegarán de un día para el otro. No obstante, es necesario buscar medidas y respuestas adecuadas, sobre todo a nivel local, debido a la importancia de las ciudades y su creciente interés en la temática.

¿Pero, cómo se puede responder a los impactos del cambio climático con un enfoque adaptativo?



¿POR QUÉ Y CÓMO ADAPTARSE?

ADAPTACIÓN ADEMÁS DE MITIGACIÓN

Mientras que la mitigación consiste en la disminución de las emisiones de carbono en la atmósfera, o en aumentar los sumideros de gases de efecto invernadero, la adaptación se define como un ajuste de los sistemas naturales o humanos en respuesta a los estímulos climáticos actuales/esperados, o a sus efectos asociados (Klein et. al., 2007).

Tras la firma del Protocolo de Kyoto en 1997, la mitigación del cambio climático ha sido el principal enfoque para muchos países y ciudades, mientras que la adaptación se ha desarrollado más lentamente. Hoy en día, sin embargo, la adaptación es un complemento necesario de la mitigación. Cada vez se tiene más certeza de que a pesar de reducir considerablemente las emisiones de GEI en el corto plazo, se desconoce el tiempo requerido para que las acciones de mitigación tengan efecto. En tal sentido, la adaptación se presenta como la vía para reducir la vulnerabilidad humana frente al cambio climático.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN EN LAS CIUDADES

Especialmente en las ciudades, la adaptación al cambio climático depende directamente de la capacidad de las instituciones y las personas para adaptarse a éstos cambios. Para planificar y responder adecuadamente al cambio climático y los efectos que conlleva en los sistemas sociales, económicos y naturales, es muy importante una planificación adecuada. Las ciudades están obligadas a preparar, proteger y adaptar a sus poblaciones, sistemas económicos y estructuras institucionales frente a los cambios venideros. Además, es necesario tomar en cuenta los riesgos y vulnerabilidades existentes.

Los efectos del cambio climático son muy diversos. La ubicación geográfica y otros factores locales los determinan en gran proporción. Por eso, la adaptación tiene que llevarse a cabo necesariamente en distintos niveles nacionales, regionales, y locales.

DISTINTOS NIVELES

Según la CMNUCC, los países miembros tienen que elaborar planes de acción a nivel nacional. Estos planes son importantes para la introducción y consolidación del tema dentro de cada país. Sin embargo, es muy difícil crear a nivel nacional medidas que se implementarán a nivel regional y/o local.

NIVEL NACIONAL

En el caso de Chile, existe un Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANC) para el periodo 2008-2012. Este plan se concibe como un instrumento articulador de un conjunto de lineamientos de política pública, que llevan a cabo diversos organismos públicos competentes en materia de cambio climático y sus efectos adversos considerando los ejes de adaptación, mitigación y creación y fomento de capacidades. El plan constituye además una herramienta orientadora para el sector productivo así

como para los organismos no gubernamentales. En él se indican las materias que el Estado considera relevantes de ser asumidas por el conjunto de la sociedad para enfrentarse a los impactos del cambio climático a través de distintos sectores, sin embargo no incluye las ciudades. En relación al componente de adaptación, a partir del PANC se tiene que desarrollar un Plan Nacional de Adaptación al cambio climático que será formulado en base a la información que se genere sobre escenarios climáticos locales, vulnerabilidad de los sectores productivos y recursos estratégicos, y escenarios de impactos del cambio climático



en los sectores prioritarios (tales como recursos hídricos, biodiversidad, silvoagropecuario, energía, infraestructura y zonas urbanas costeras). Esto permitirá implementar un único set de medidas de adaptación.

LA MANERA DE ACTUAR Y ENFRENTAR EL PROBLEMA

Independiente de los distintos niveles de acción, también es necesario adaptar la manera de actuar y de enfrentar los efectos del cambio climático. Los cambios en el clima implican problemas que son intersectoriales por naturaleza y que a su vez ejercen presiones en diferentes sistemas. Estos efectos están a menudo relacionados entre sí y no pueden ser resueltos sin un esfuerzo coordinado por parte de los diversos organismos gubernamentales involucrados.

VARIAS ESCALAS Y SECTORES POLÍTICOS

Consecuentemente, la complejidad de los procesos y cambios hace que los organismos involucrados tengan que representar diferentes niveles y sectores gubernamentales. Por lo tanto, la implementación de las políticas requiere cambios importantes en los procedimientos, planes e inversiones existentes. Además, muchas veces existen diferencias entre la forma de accionar para promover el tema de la adaptación al cambio climático y los objetivos sectoriales de las diferentes instituciones gubernamentales.

POLÍTICAS INTERCONECTADAS

Dada esa complejidad, que conlleva un gran número de incertidumbres, es muy difícil abordar el cambio climático desde una perspectiva política tradicional donde cada agencia de gobierno, ministerio o departamento trabaja para una única respuesta. Se requiere de nuevos enfoques políticos, integradores, cooperativos e interactivos a largo plazo entre los diversos sectores de las instituciones gubernamentales y de la sociedad en general.

El proceso de políticas intersectoriales requiere conocimiento sobre las formas complejas en que los instrumentos y las medidas existentes son desarrollados e implementados. Adicionalmente, el proceso señala las limitaciones y oportunidades en el momento de agregar las dimensiones del cambio climático y las políticas del proceso mismo en él. Por ello, vincular medidas factibles de adaptación con políticas y gestiones actuales es fundamental.

COMUNICACIÓN COMO OBJETIVO MÁS IMPORTANTE

Uno de los factores más importantes para apoyar el proceso de determinación de una política adaptiva al cambio climático consiste en comunicar los resultados científicos a los actores locales así como en integrar sus conocimientos (p. ej. Roux et al. 2006, Sánchez-Rodríguez 2009). Trabajar de forma cooperativa y desarrollar capital social, está definido como elemento importante dentro del proceso para fortalecer la capacidad institucional de adaptación al cambio climático (Adger, 2003). Asimismo, las estrategias de adaptación al cambio climático dependen de la capacidad de los individuos y de la sociedad de actuar colectivamente y, además, de las intervenciones y la planificación por parte del Estado.

¿POR QUÉ ADAPTAR LA RMS AL CAMBIO CLIMÁTICO?

La Región Metropolitana de Santiago (RMS) con más de 6 millones de habitantes es el centro político, administrativo y económico del país. Debido a la concentración de poder económico y sistemas funcionales, en la actualidad existe una alta demanda de recursos que seguirá aumentando en el futuro. Por eso, Santiago requiere, de forma especial, la introducción de medidas de adaptación al cambio climático.

Según informaciones científicas recientes, la ciudad tendrá que prepararse para un clima más árido y más caluroso, con precipitaciones más concentradas en los meses de invierno y con altas temperaturas durante el verano. Se espera un aumento de la temperatura entre 1-2°C aproximadamente y, en el caso de las precipitaciones, una disminución total de 20%, pero con gran variabilidad en los patrones temporales (Cortés et al., 2012).

Estos cambios implican retos de gran importancia: el incremento de amenazas debido al cambio del uso de suelo y la exposición de hogares y viviendas a estas amenazas, así como el abastecimiento de agua y energía.

Respecto a la generación de amenazas de inundaciones y calor extremo existe una clara relación entre el uso de suelo y el cambio climático. La expansión urbana genera cambios en el uso de suelo provocando un impacto negativo en la distribución y la intensidad de las amenazas, así como en la exposición a ellas. Por eso, es importante considerar estas amenazas en relación al acelerado crecimiento urbano que ha experimentado la ciudad de Santiago en las últimas décadas.



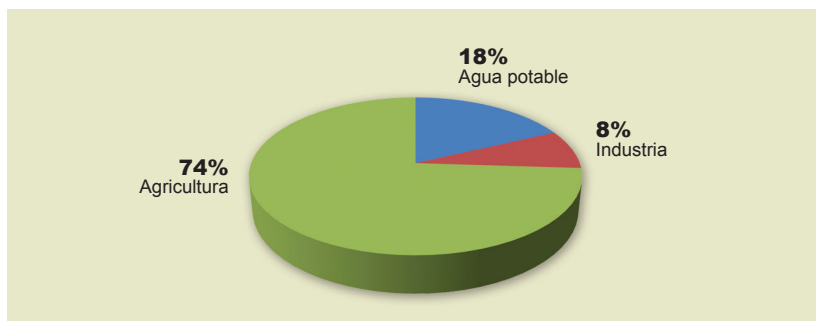
La exposición de los hogares y viviendas a estas amenazas se manifiesta de forma desigual: mientras el calor extremo afecta principalmente a los estratos socio-económicos bajos, los estratos altos se encuentran más expuestos a inundaciones. No obstante, hay que destacar

que existe un nivel de incertidumbre respecto a las exposiciones. Por ejemplo, no se sabe si los afectados en los momentos de calor máximo se encuentran en sus casas o en la calle. Pues, es probable que la exposición en la calle y/o en el transporte público sea más elevada que en las casas. En un futuro cercano se prevé que más personas estén viviendo bajo amenaza debido a la tendencia de expansión urbana de la ciudad a zonas que ya están amenazadas tanto por inundaciones como por calor extremo. Lo que hace evidente la necesidad de elaborar políticas urbanas de adaptación protegiendo a la población expuesta y disminuyendo su vulnerabilidad. Al mismo tiempo, es importante evitar nuevas exposiciones.

Los ríos principales en la RMS son el Río Maipo y el Río Mapocho, ambos provienen de las zonas de los glaciares en los Andes. Los ríos satisfacen un 70% de la demanda de agua potable y alrededor de un 90% de la demanda de riego. Los recursos hídricos renovables se componen de la precipitación y el caudal de aguas superficiales de los Andes a través de estos ríos. La disponibilidad temporal de recursos hídricos en la llanura de la RMS se determina en gran parte por la temperatura, las precipitaciones y la capacidad de almacenamiento de las regiones montañosas (nieve y glaciares). Por su naturaleza, la disponibilidad temporal conlleva altas variabilidades.

Los tres grandes consumidores de agua en la RM son la agricultura (74%), la industria (8%) y el agua potable para las necesidades de la población (18%) (ver figura 1). Hoy en día, en años lluviosos, la disponibilidad natural de agua es suficiente. Pero, en años secos se evidencia un riesgo, cuando los consumidores demandan más agua de la que hay disponible.

Figura 1: Demanda de agua por sector en la RMS

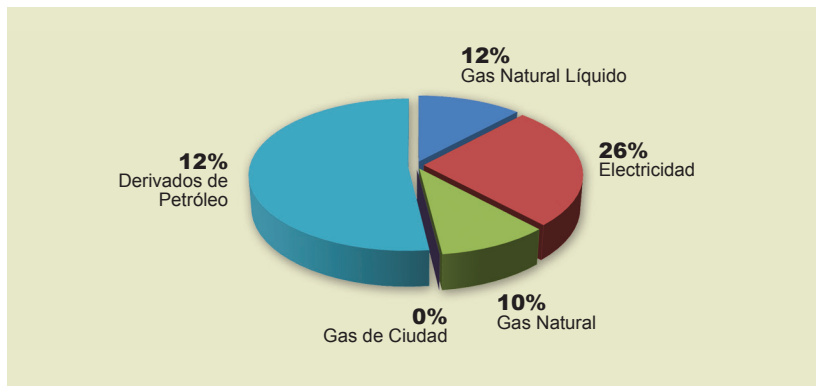


Fuente: Elaboración propia en base a SISS, PUC (2011)

En Chile, el consumo de energía -impulsado por el continuo crecimiento de la población y la economía- ha aumentado de manera constante en las últimas décadas. En la RMS, sin embargo, el consumo de energía es relativamente bajo en relación a los porcentajes de población y de actividad económica; esto se debe a que la mayor producción de la industria energéticamente intensiva está destinada a la minería y la industria del papel, las cuales se localizan fuera de la RMS, en el norte y el sur del país, respectivamente. Independientemente

de los aspectos socioeconómicos, el consumo de energía es dependiente del clima, principalmente de la temperatura. La población aumenta el consumo de gas para calefacción durante el invierno, y en verano, aumenta el consumo de electricidad por uso del aire acondicionado. En la figura 2 se aprecia el consumo de energía final en la región, donde más de la mitad son derivados líquidos del petróleo, los cuales son empleados casi en su totalidad en el sector transporte.

Figura 2: Consumo de energía final en la RMS en el 2010



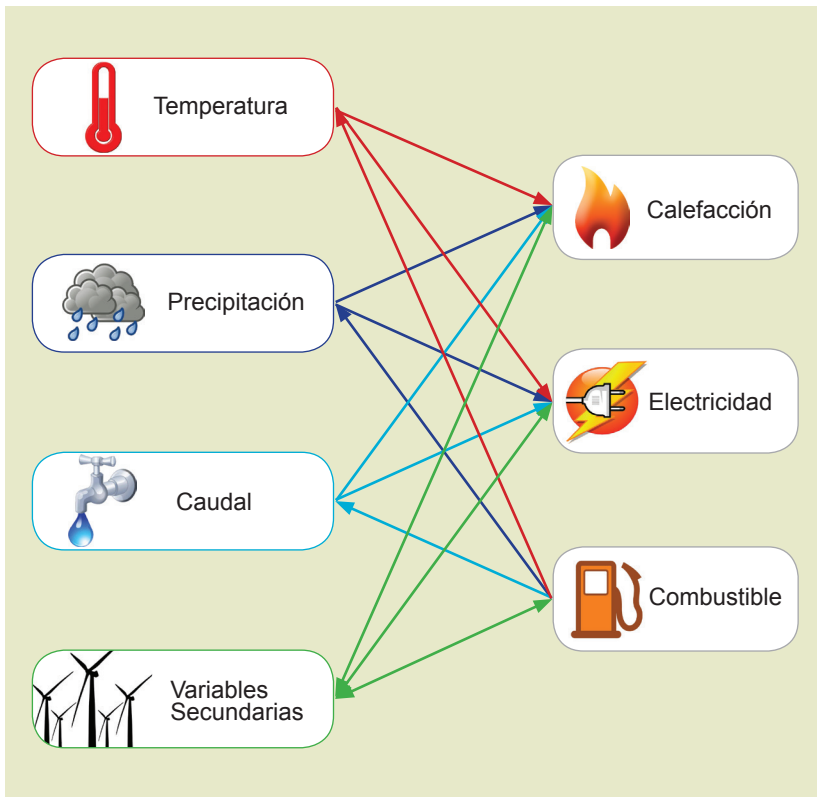
Fuente: Elaboración propia en base a INE (2010), SEC (2010)

La RMS genera un poco más de la cuarta parte (26%) de la electricidad que se consume en la región, la cual es inyectada a la red a través del Sistema Interconectado Central (SIC). El 49% de ésta generación eléctrica proviene de hidroeléctricas, mientras que el 51% restante se genera a partir de centrales termoeléctricas. La producción de electricidad de cada central hidroeléctrica varía cada año, puesto que la misma depende de la cantidad de agua disponible, la cual varía según las estaciones y el clima. Esta variabilidad está determinada en gran parte por la temperatura, las precipitaciones y la capacidad de almacenamiento de las



regiones montañosas (nieve y glaciares) (ver figura 3). El problema es que la precipitación en la RMS es altamente variable y conlleva frecuentemente a sequías, causando problemas en la generación de hidroelectricidad. La generación termoeléctrica también se ve impactada por las variables climáticas de temperatura y humedad del aire. Respecto a la producción de calor para calefacción de instalaciones residenciales y comerciales, procesos industriales y cocción de alimentos, se utilizan casi en su totalidad recursos fósiles (gas natural, gas de ciudad, gas líquido de petróleo y kerosene) los cuales son importados. Un mínimo porcentaje se genera a partir de biomasa basada en biogás producido en la planta de tratamiento “La Farfana” y de leña.

Figura 3: Relaciones entre las variables climáticas y las aplicaciones energéticas.

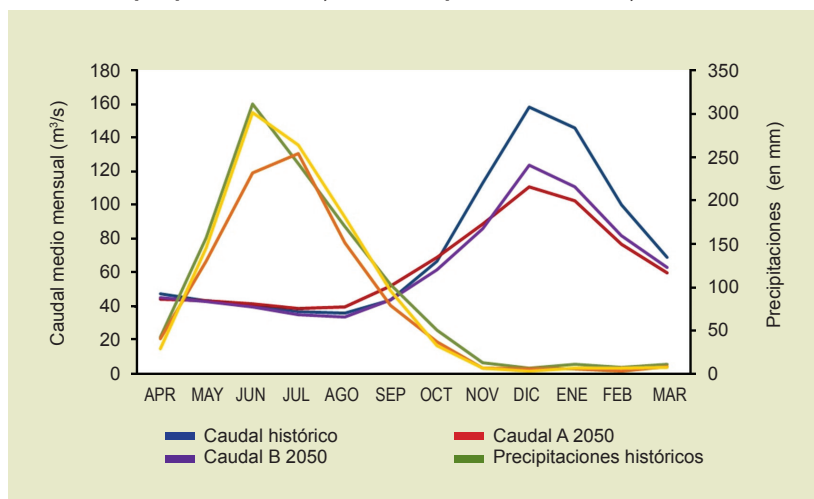


Fuente: Elaboración propia

VISIÓN GENERAL DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS ESPERADOS PARA LA RMS¹

Para el período 2045-2065 se espera un aumento de las temperaturas máximas y mínimas, alrededor de 1-2°C en la RMS. Se prevén más días con temperaturas por encima de los 30°C. Para el mismo período se estima una disminución de las precipitaciones totales anuales en promedio del orden del 20%. Las disminuciones más importantes ocurrirán en días con precipitaciones menos intensas (entre 1 y 10 mm/día). Las precipitaciones se concentrarán en menos días. Además, se espera que los caudales de los ríos disminuyan entre un 15 y 20% respecto al caudal histórico (ver figura 4).

Figura 4: Comparación entre escorrentía y precipitación histórica y anual futura para escenario A 2050 y B 2050



Fuente: Cortés et al. (2012)

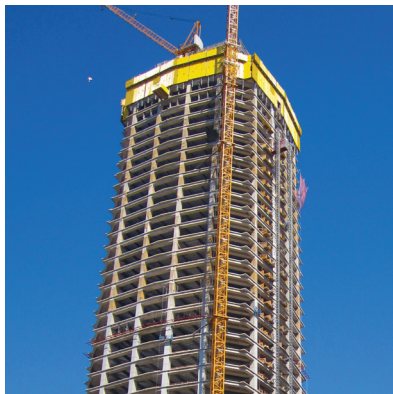
Consecuentemente, es probable que en el futuro la RMS sea una región más árida y más calurosa, con precipitaciones concentradas cada vez más en los meses de invierno y con temperaturas altas-extremas durante el verano.

¹ Estas proyecciones de los principales cambios climáticos esperados en la RMS para el período 2045-2065 se construyeron sobre estudios previos realizados a nivel nacional y están basadas en un 'downscaling' estadístico de las proyecciones de modelos a nivel regional. Hay que destacar que existen incertidumbres alrededor de estas proyecciones que no se pueden evitar. No obstante, aplicando una serie de modelos es posible cuantificar la incertidumbre asociada a los resultados, este proceso debería convertirse en una norma para estudios futuros sobre impacto climático y adaptación.

IMPACTO DE LA EXPANSIÓN URBANA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL AUMENTO DE LAS INUNDACIONES Y EL CALOR EXTREMO

Entre los tipos de usos y coberturas de suelo urbanas se encuentran, entre otros, áreas edificadas de varias densidades (incluido la red vial), áreas verdes, áreas agrícolas, suelos desnudos, vegetación natural en las franjas de la ciudad, quebradas y ríos. En general, la urbanización va acompañada de una expansión de la ciudad e implica un cambio en la distribución espacial y en la presencia de los diferentes usos de suelo.

En el caso de Santiago, la expansión urbana está caracterizada por una disminución de los usos agrícolas y coberturas naturales, y un aumento sostenido de la superficie urbana. Se espera que el cambio climático pronosticado agrave los impactos provenientes de los cambios en los usos de suelo para el futuro, provocando por ejemplo un aumento de las amenazas naturales como inundaciones y calor extremo. Para entender de mejor manera y proyectar los impactos, es importante analizar las relaciones entre los tres elementos: el cambio en el uso de suelo, el cambio climático y las amenazas.



Cada tipo de uso de suelo tiene distintas características físicas que son importantes para la generación/prevenición de amenazas. En relación con las inundaciones, el factor determinante es la capacidad de infiltración y retención del suelo. En general, las áreas verdes o áreas agrícolas tienen una alta capacidad de infiltración y retención; es decir que gran parte de las aguas de lluvias se infiltra en el suelo (véase Romero & Vásquez, 2005). Por el contrario, áreas edificadas de media o alta densidad con un gran porcentaje de

suelo impermeable tienen baja capacidad de infiltración, por lo que las aguas lluvias escurren y entran directamente en el sistema de canalización. Cuando el volumen de aguas lluvias exceda la capacidad de las quebradas, canales u otras obras hidráulicas, el agua podría desbordarse e inundar la ciudad. Por lo tanto, la amenaza de inundaciones aumenta con la expansión urbana en la medida que este proceso no sea acompañado por un aumento en la capacidad de los canales y de la infraestructura hidráulica, tal como los muros de defensa, sistemas de evacuación de aguas lluvias, etc.

Asimismo, el tipo de uso de suelo es el factor determinante para la generación de islas de calor. En este contexto, la vegetación en áreas verdes juega un papel importante porque tiene la capacidad de enfriar el entorno: los árboles dan sombra y la vegetación en general refresca. Por el contrario, áreas edificadas de media o alta densidad con edificios altos, solamente aportan sombra y no favorecen el enfriamiento del ambiente; además no se enfrían durante la noche porque el calor se acumula en materiales como el hormigón. Aunque muchos condominios altos dan sombra durante el día, al mismo tiempo bloquean la circulación del viento, lo que obstaculiza la corriente de aire fresco durante la noche. En consecuencia, las islas de calor se mantienen también durante la noche, sea por la perturbación de corredores de ventilación o por la falta de vegetación en las áreas densamente edificadas.

Consecuentemente, el uso de suelo tiene un impacto directo en la producción de inundaciones por alterar las capacidades de infiltración del suelo (ver figura 5). Además, contribuye a la generación de islas de calor, las cuales dependen principalmente de la proporción de la vegetación. El clima, a su vez, influye en la probabilidad de que ocurran inundaciones por la cantidad e intensidad de la lluvia; y en la formación de islas de calor debido a las altas temperaturas durante el verano. Además, el clima influye especialmente en el uso de suelo de la periferia donde no hay sistemas de riego. En caso de que las precipitaciones disminuyan y las temperaturas aumenten, disminuirá la vegetación o aumentarán las áreas secas, que a su vez tienen menos capacidad para captar aguas lluvias o sombrear.

Figura 5: Relaciones entre el uso de suelo, el clima y la generación de amenazas



Fuente: Müller (2012)

Imágenes satelitales, mapas de uso de suelo digitales, datos de temperaturas y precipitación, proyecciones sobre el cambio climático y simulaciones por computador dan mayor información para estimar el impacto futuro de la expansión urbana y del cambio climático en la producción de inundaciones y calor extremo en Santiago.

El análisis de imágenes satelitales termales reflejando las temperaturas de superficie en combinación con mapas del uso de suelo muestra una fuerte relación entre el crecimiento urbano (y la disminución de áreas verdes) y las temperaturas superficiales. Gran parte donde las áreas verdes disminuyeron entre los años 2001 y 2009 también muestran temperaturas superficiales más altas en el 2009. Por otro lado, las temperaturas han disminuido en aquellas zonas donde la cantidad de áreas verdes aumentó. Estos resultados muestran que la cantidad y también la calidad de vegetación juegan un papel muy importante para el fenómeno de estrés térmico aunque no es el único factor. Corredores de aire fortalecen el intercambio de aire durante la noche con aire fresco de la cordillera. Sin embargo, en algunos casos, estos pasillos se han visto interrumpidos por edificios altos (véase Romero & Vásquez, 2005).

Respecto a la expansión urbana se estima que la amenaza de calor extremo no variará mucho en el futuro en comunas con menos dinamismo en el cambio de uso de suelo. Por el contrario, en comunas dinámicas, que todavía crecen y donde hay muchas conversiones de áreas verdes en área edificadas, las zonas de calor aumentarán. Respecto al cambio climático, con el aumento de días con temperaturas superior a 30°C (véase Cortés et al., 2012), las áreas actualmente afectadas por calor extremo crecerán aproximadamente entre un 10-20%. Este incremento será mayor en zonas de alta densidad poblacional y de nivel socioeconómico bajo donde ya existe un déficit de áreas verdes.

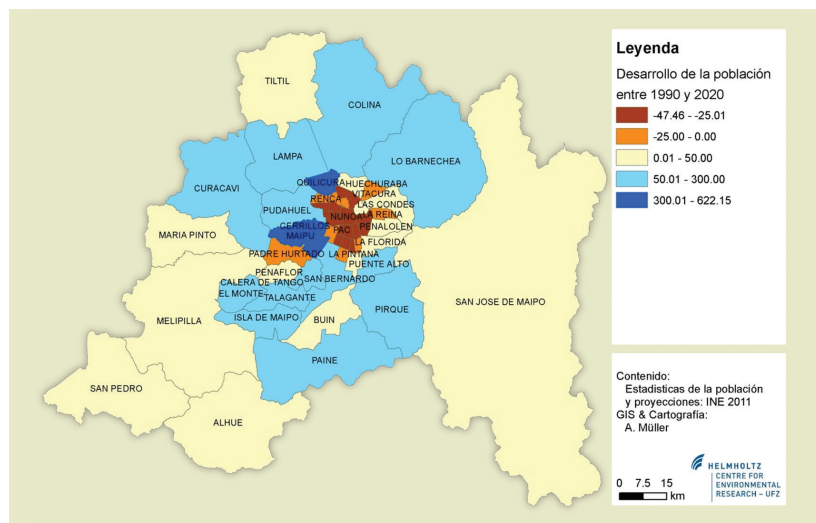
De igual modo, los cambios de uso y cobertura de suelo tienen efectos negativos en las amenazas de inundaciones. La aplicación de un modelo hidrológico en la cuenca de San Ramón demostró que una disminución de las áreas verdes en la cuenca, sea por urbanización o por cambio climático (sobre todo el descenso de agua disponible para los matorrales y praderas), implica un aumento de las áreas ya afectadas por inundaciones entre un 5-10% en el piedemonte andino (Quebradas San Ramón, Nido de Águila, Macul) (Müller, 2012; Pérez, 2009). Además las áreas afectadas sufrirán niveles de agua superiores. Las amenazas de inundaciones van a bajar en el futuro en el norte de la RMS (por ejemplo en Lampa y Colina) porque los humedales desaparecerán por una disminución de los niveles de napas freáticas. Para el futuro se espera que la urbanización siga creciendo hacia nuevas zonas en la periferia, dado que en ellas se encuentran varias áreas disponibles para la construcción y es ahí donde los límites de la zona urbana están siendo ampliados con el nuevo PRMS 100 (Plan Regulador Metropolitano de Santiago).

En las áreas centrales de la ciudad existen solo algunas construcciones nuevas que se encuentran en áreas de amenaza de inundación, en cambio sí existe mucha actividad de construcción en este tipo de áreas en comunas de la periferia poniente y norte, así como en las áreas peri-centrales del oriente. Esto significará un aumento a la exposición a inundaciones en estas zonas de la periferia, así como de la frecuencia de inundaciones debido a la pérdida de zonas de retención naturales. Respecto al cambio climático, la amenaza de inundaciones cambiará en primer lugar por la pérdida de áreas verdes naturales durante los periodos de sequía. La función “buffer” de la periferia baja en estos casos y la probabilidad de inundaciones aumentará levemente aunque el promedio anual de lluvias se reducirá en 20 a 100 mm anual (véase Cortés et al., 2012). Sin embargo, el número y cantidad de eventos extremos se mantendrá prácticamente constante.

EXPOSICIÓN A INUNDACIONES Y CALOR EXTREMO COMO EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Considerando que en la actualidad la RMS alberga a un tercio de la población chilena (6,6 millones habitantes) y que esta cifra se estima llegará a 8 y 8,5 millones de habitantes en 2030 y en 2050 respectivamente, la adaptación a amenazas como inundación y calor extremo requiere de medidas específicas dirigidas a aquellas partes de la región que muestran altos porcentajes de exposición (en comparación con otros lugares) en términos de viviendas y de hogares. Por lo mismo, es importante tener más información sobre la distribución espacial de los grupos más afectados por las amenazas relacionadas con el cambio climático, diferenciados por su estructura socioeconómica y la condición física de la vivienda en la RMS (ver figura 6).

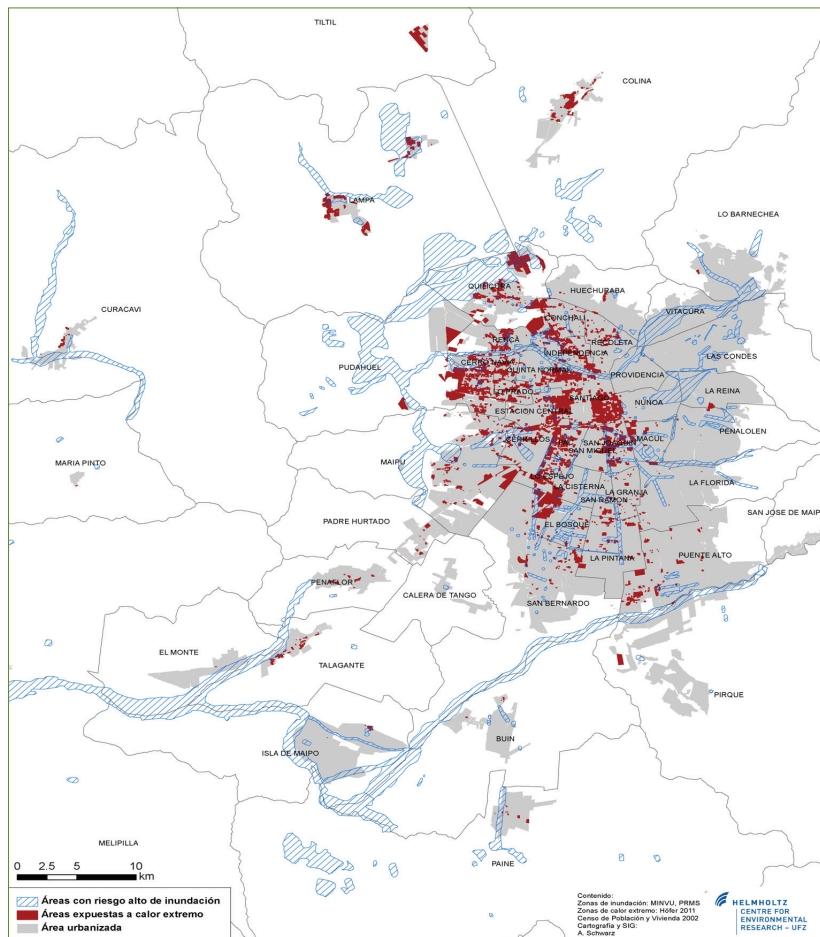
Figura 6: Estimaciones del desarrollo poblacional en la RMS hasta 2020



Fuente: INE (2011)

Según datos censales del año 2002 para la RMS, diferenciados por condiciones físicas de la vivienda (índice COFIVI) y la situación socio-económica del hogar (índice GSE), y cartografía disponible indicando las zonas afectadas por inundaciones y calor extremo salen a la luz los siguientes resultados: Las zonas afectadas por inundaciones se distribuyen sobre todo el área urbana de la RMS, diferente a las zonas expuestas a calor extremo (temperatura superficial >35°C) que se concentran en el centro, así como al norte y oeste de la ciudad (ver figura 7).

Figura 7: Áreas bajo amenazas en la RMS, 2002



Fuente: Elaboración propia

En total, alrededor de 10% de la población (aprox. 610.000 personas), 11% de los hogares (aprox. 165.000 hogares) y 11% de viviendas (aprox. 152.000 viviendas) están expuestos a inundaciones y alrededor de 11% de la población (aprox. 666.000 personas), 14% de los hogares (aprox. 210.000 hogares) y 14% de las viviendas (aprox. 190.000 viviendas)

están afectados por el calor extremo. En comparación, sólo un 2,2% de los hogares y de las viviendas en la RMS están localizadas en manzanas afectadas por ambas amenazas, es decir por inundaciones y calor extremo.



Las comunas de Alhué y San José de Maipo no registran ni exposición a inundación ni a calor extremo. Para las comunas de Colina, Padre Hurtado y Peñaflores no se identificó ni población, ni hogares, ni viviendas expuestos a inundaciones. Las comunas de Las Condes, Vitacura, Calera de Tango, Pirque y San Pedro no registran ni población, ni hogares, ni viviendas expuestos al calor extremo. No se identificaron manzanas expuestas a ambas amenazas en las comunas del "barrio alto" las cuales son: Vitacura, Las Condes, La Reina, Lo Barnechea, Providencia y Peñalolén.

En términos de distribución espacial de los hogares y de las viviendas:

- la exposición a inundaciones es muy elevada en las comunas de Lampa (52%), Lo Barnechea (38%), Pirque (37%) y Vitacura (35%);
- la exposición a calor extremo es relativamente alta en Lampa (48%), Colina (40%), Santiago (39%), Pedro Aguirre Cerda (39%) y Pudahuel (37%);
- la exposición a ambas amenazas es elevada en Lampa (21%), San Joaquín (15%), Lo Espejo (11%) y Quilicura (10%).

Considerando la condición socio-económica de los hogares expuestos a inundaciones y calor extremo se observan patrones divergentes dentro de la RMS, pero la exposición no se delimita a un cierto grupo socio-económico.

En términos de exposición a inundaciones, se observa una distribución relativamente igualitaria dentro de los GSE, con el porcentaje más alto del ABC1 (14%) (ver figura 8). Más detalladamente, un 67% de los 20.730 hogares del ABC1 que están expuestos a inundaciones en el área urbana pertenecen a las comunas de Vitacura, Ñuñoa, La Reina y Las Condes. En particular, uno de cada cinco hogares del ABC1 proviene de la comuna Vitacura. Una situación contraria se observa en las áreas rurales² donde el estrato D presenta con 26% el valor más alto, es decir el estrato socio-económico más bajo (precario) (ver figura 8).

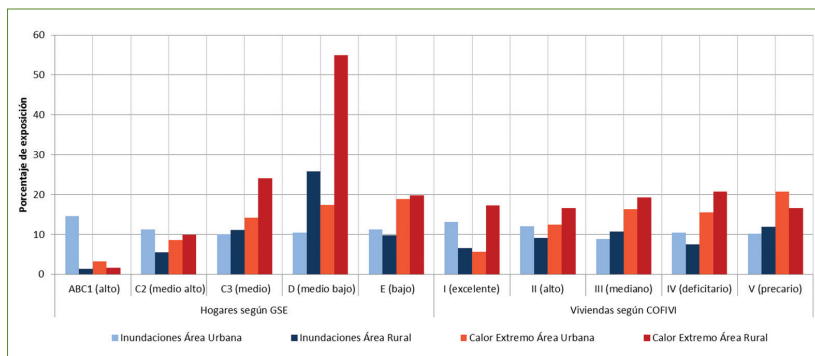


2 En el presente caso, se consideran como comunas rurales las comunas de Alhué, Buín, Calera de Tango, Colina, Curacaví, El Monte, Isla de Maipo, Lampa, María Pinto, Melipilla, Padre Hurtado, Paine, Peñaflores, Pirque, San José de Maipo, San Pedro, Talagante y Tiltil. Se las considera rurales no tanto por la definición del INE (población rural) sino por su carácter periférico, es decir, son predominantemente rurales ya que allá reside población urbana a par de población rural.

Aquí destaca la comuna de Lampa que alberga a 38% de los grupos socioeconómicos bajos (D y E) viviendo en zonas de inundaciones. Parecido es el resultado de la exposición a inundaciones diferenciado por la condición física de la vivienda. En término de valores porcentuales la clase COFIVI-I (excelente) alcanza los valores más altos (13%) en las áreas urbanas, mientras que en las áreas rurales, se observa valores elevados en los grupos COFIVI-V (precario) con 12% y COFIVI-III (mediano) con 11% (ver figura 8). Resumiendo, la probabilidad de estar expuesto a inundación en áreas urbanas es muy elevada para familias de altos ingresos y viviendas de alta calidad, mientras hogares pobres y viviendas de condiciones precarias y medianas en áreas rurales se caracterizan por una baja exposición.

El resultado es diferente en el caso de la exposición al calor extremo, dado que los grupos socio-económicos más bajos (D y E) tienen los porcentajes más altos de exposición, en particular en las áreas rurales donde uno de cada dos hogares del estrato D está expuesto al calor extremo (ver figura 8). El caso más significativo lo constituye la comuna de Colina donde el porcentaje de exposición del estrato socio-económico D alcanza el 28%, siendo el más alto de la región. En relación a la condición física de la vivienda se observa que en las áreas urbanas las viviendas precarias (COFIVI-V) alcanzan un alto porcentaje (20%) de exposición al calor extremo, mientras que en áreas rurales las viviendas de las clases COFIVI-V, IV y II alcanzan los porcentajes más altos (ver figura 8). Es decir, la probabilidad de exposición al calor extremo en la RMS marca una tendencia inversa a la exposición a inundaciones, los grupos socioeconómicos más bajos y las viviendas de calidad deficitaria/ precaria tienen mayor probabilidad de exposición a esta amenaza en áreas urbanas. Estos resultados se relativizan en las áreas rurales, donde los porcentajes no alcanzan valores tan extremos. No obstante hay que considerar que el análisis representa sólo una fotografía del momento, es decir, no se sabe si las personas realmente sufren el calor extremo en sus casas (puerta adentro) o en la calle o transportes públicos (puerta afuera).

Figura 8: Porcentaje de Exposición a inundaciones y calor extremo según GSE y COFIVI, área urbana-rural, RMS 2002



Fuente: Elaboración propia en base de INE (2002)

En caso de la exposición a ambas amenazas diferenciando por grupos socioeconómicos y condiciones físicas de vivienda, se observa una predominancia de la exposición por parte de los hogares más pobres y viviendas más deficitarias. El estrato socio-económico más alto (ABC1) tiene una probabilidad de exposición a amenazas múltiples significativamente menor que los demás grupos. En el caso de los estratos socioeconómicos más bajos (D y E) la situación es diferente ya que tiene una alta probabilidad de exposición en comparación con los demás grupos. Porcentajes parecidos se observan también entre los diferentes grupos del índice COFIVI. Aquí las viviendas con mejores condiciones físicas tienen una probabilidad de exposición menor que las viviendas con condiciones físicas deficitarias y precarias.

Contemplando las estimaciones para 2050, se espera un aumento de los habitantes expuestos tanto a inundaciones como a calor extremo debido a la acelerada expansión y densificación urbana. No se alcanzará a equilibrar las desigualdades respecto a la exposición de amenazas. Es más, debido a la urbanización irregular por las políticas habitacionales y sociales de carácter neoliberal, se esperará un aumento en la exposición a inundaciones por parte de los hogares perteneciente al estrato E y viviendas de calidad precaria (COFIVI V). En relación al calor extremo, los temas claves en el futuro serán la cantidad de población expuesta, la exposición de los estratos socioeconómicos bajos, así como las viviendas de condiciones deficitarias y precarias. Bajo la actual tendencia de urbanización en áreas declaradas como 'zona de peligro' tanto de inundaciones como de calor extremo, queda claro que en un futuro cercano se podrán ver en Santiago aun más personas viviendo en zonas bajo amenaza.

Por consiguiente, las políticas urbanas y de adaptación al cambio climático deberán desarrollar la capacidad de proteger a la población expuesta y disminuir su vulnerabilidad, y simultáneamente deberán inhibir el surgimiento de nuevas exposiciones. Esta disminución de exposición podría resultar más factible en el ámbito de las inundaciones reduciendo el tamaño de las áreas afectadas a través de cambios en el uso del suelo y el aumento de la superficie permeable, entre otros. Más allá de estos mecanismos instrumentales, se requiere actuar en el ámbito de la desigualdad en relación a la exposición a amenazas. Es decir, para reducir la exposición a inundaciones es necesario enfocarse en las clases socioeconómicas altas y medias, mientras que en el caso de la exposición al calor extremo el enfoque va dirigido a las clases más bajas (D y E), ya que serán éstas las con mayor probabilidad de exposición.

Adicionalmente, para adaptarse al cambio climático y disminuir la exposición a inundaciones y calor extremo, es necesario entender lo que sucede en cada hogar expuesto en el momento de la exposición: ¿Cómo está preparado? ¿Está sufriendo algún daño? ¿Es capaz de recuperarse del daño? Por ello en el corto plazo, se requerirán estudios más profundos acerca de los grupos vulnerables y su susceptibilidad así como sus capacidades de superación para poder llegar a conclusiones más precisas.

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS

El gran reto en los próximos 50 años, teniendo en cuenta la menor disponibilidad de agua, será reducir aún más la demanda de agua para tener suficiente agua para los consumidores de agua potable, agrícola, industrial y el ecosistema. Debido a la alta variabilidad interanual de las precipitaciones que causan patrones cambiantes del caudal, la cantidad de agua disponible en años lluviosos resulta cuatro veces mayor que la de años secos. La demanda de agua depende en igual medida de las condiciones climáticas, especialmente en el sector agrícola por sus necesidades en cuanto al riego, aunque los rangos de variabilidad de la evapotranspiración son bastante bajos. En el promedio anual de años lluviosos la demanda de la RMS asciende a un 38% de la disponibilidad natural y en un año normal a más de dos tercios de los recursos hídricos disponibles. Finalmente en años secos los consumidores demandan un 168%, o sea dos tercios más que el agua disponible.

La disponibilidad de agua en el futuro

La disponibilidad futura de agua en la RMS está principalmente condicionada por los impactos regionales del cambio climático que se hacen presentes en la variación de las temperaturas, precipitaciones y/o las tasas de caudal. Evidentemente los escenarios climáticos descritos apuntan a una reducción de la cantidad de agua disponible. En general, se predice una menor disponibilidad de agua en el futuro.



Escenarios específicos para la demanda de agua en el futuro

Dado el desarrollo socioeconómico y tecnológico en el futuro se esperan cambios en la demanda de agua en los sectores agricultura, agua potable e industria. Los factores claves son el desarrollo de la eficiencia del riego en la agricultura a través de la implementación de nuevas tecnologías, el desarrollo de la agricultura y el área regada, el desarrollo de la población y de las políticas públicas. En ambos escenarios decrece la demanda total del agua, especialmente por la menor demanda por parte de la agricultura.

Balance de disponibilidad y demanda de agua en el futuro

En el futuro tanto la disponibilidad como la demanda del agua variarán en la RMS debido a los efectos del cambio climático, así como por transformaciones demográficas, económicas y tecnológicas. Uniendo los dos factores (variación interanual y predicciones del cambio climático) el rango de variación del recurso hídrico renovable oscila entre 1,9 km³ y 9,5 km³ por año, menos que en la actualidad. En años extremadamente lluviosos los recursos hídricos ascienden a volúmenes casi cuatro veces mayores que en años secos.

La demanda total de agua tiende a disminuir. Estas estimaciones están basadas en el supuesto de que se hacen esfuerzos para introducir nuevas tecnologías, especialmente en la agricultura. La incorporación de nuevas tecnologías frecuentemente significa una demanda adicional de energía eléctrica (bombas de agua para riego por goteo en la agricultura o para bombear aguas residuales por membranas). Si se llega a introducir dichas tecnologías, éstas tienen que funcionar con energías renovables.

La demanda total de agua para el año 2050 se estima en un 57-64% de la disponibilidad total en un año promedio, que ya significa estrés hídrico según el Índice de Explotación del Agua. Este índice se calcula como el cociente entre la extracción media anual de agua dulce y la media en el largo plazo de recurso disponible (EEA, 2009).

En estos tiempos se calcula que la demanda de agua excede la disponibilidad con creces (entre un 148% y un 178%). El reto urgente para la RMS es prepararse para una secuencia de años secos, de manera de poder mantener un balance sostenible de agua.

DISPONIBILIDAD ENERGÉTICA Y CAMBIO CLIMÁTICO

El suministro seguro de energía es muy importante para la población y la economía. Energía en este sentido significa electricidad, calor y combustibles, de los cuales solamente la electricidad y el calor están afectados por el cambio climático.

El consumo de energía en el futuro

En el futuro se espera que el consumo de energía aumente con el crecimiento de la población y del Producto Interno Bruto (PIB). Además, estará afectado por el incremento de temperaturas lo cual se representa en el aumento de consumo de electricidad en aire acondicionado y refrigeración de alimentos.

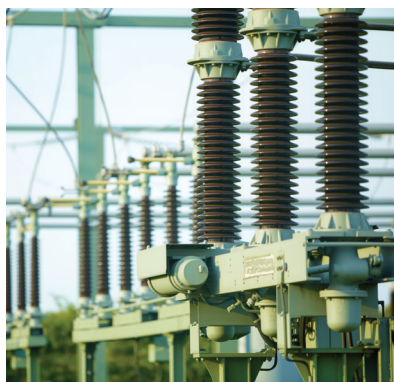
En base a la metodología de Cai et al. (2011) se calcula que para el sector residencial, el impacto climático asociado al aumento previsto de la temperatura promedio implica un incremento de la demanda de electricidad de un 1,4% para el año 2030. Para el 2050, el consumo de electricidad aumentará 0,4% adicional teniendo como punto de partida el consumo con cambio climático del año 2030. En total, el consumo de electricidad relacionado al aumento de la temperatura será alrededor de 1,8%. El mismo análisis para el sector comercial, muestra que el impacto climático asociado al aumento previsto de la temperatura, implica un incremento de la demanda de electricidad de un 1,9% para el año 2030. Para el 2050, el consumo de electricidad aumentará 0,6% adicional teniendo como punto de partida el consumo con cambio climático del año 2030 (2,5% in total). El sector industrial se ve levemente afectado con menos de 0,1%. Así mismo se reducirá la cantidad de gas empleado normalmente para calefacción. En el sector residencial hacia el 2050, se reducirá el consumo de gas en un 2,3% y en el sector comercial en un 4,1%.

El suministro de energía en el futuro

Actualmente, alrededor del 25% del consumo de electricidad de la RMS es producida en la propia región. La mitad de esta producción eléctrica proviene de las plantas térmicas Renca y Nueva Renca, Basadas en diesel y gas respectivamente. La otra mitad se genera en centrales hidroeléctricas grandes y pequeñas. Mínimos porcentajes de electricidad se producen por medio de instalaciones solares PV y desde la central "Loma Los Colorados I". Además, se prevé en el futuro un aumento de la producción de agua caliente a partir de colectores solares y el uso de biogás para calefacción.

El cambio climático influye en la producción de electricidad desde las centrales hidroeléctricas por medio de la variación de la precipitación y por ende, la variación de caudal de agua. La producción de electricidad está relacionada positivamente con la cantidad de agua que pasa por la turbina hasta una cantidad máxima. Sobre esta cantidad máxima la turbina no puede producir más energía independiente de la cantidad de agua. Se espera que la producción eléctrica en 2030 sea mayor que en el período 1996 a 2010 (1.900 GWh en lugar de 1.740 GWh). En el 2050 la producción eléctrica será casi la misma que en el período 1996 a 2010 (alrededor de 1.700 GWh).

Teniendo en cuenta las incertidumbres en los datos de caudal futuro, y también las incertidumbres resultantes de la aplicación de la función de correlación, se puede afirmar que no habrá casi ningún cambio en producción eléctrica de las centrales hidroeléctricas hasta el año 2050, en cambio hasta 2030, posiblemente ocurra un ligero aumento. Además hasta 2050 se espera que casi no haya cambio en la frecuencia de los periodos con poca o muy poca producción de electricidad desde plantas hídricas. En el caso de las termoeléctricas, Renca y Nueva Renca, la influencia del cambio climático, está dada por la temperatura, debido a que las condiciones del aire ambiente en la entrada a la turbina de gas de estas centrales. Así, a medida que aumenta la temperatura del aire que entra en la turbina, disminuye la producción de electricidad. Además dependiendo del sistema de enfriamiento (con agua o con aire) de la termoeléctrica, influirá la temperatura del agua o la humedad del aire respectivamente.



En suma, existe una gran variedad de posibilidades en la situación energética futura de la RMS, que depende de factores como el crecimiento de la población y del PIB, el aporte político para la producción de energías renovables. Los efectos del cambio climático - los cuales conocemos ahora - tienen muy poca influencia.

VISIÓN GENERAL DE LA PLANIFICACIÓN DE ADAPTACIÓN Y LOS INSTRUMENTOS DE ADAPTACIÓN EN LA RMS

Dado que en Chile todavía no existen leyes, normas, planes o estrategias de adaptación al cambio climático a nivel nacional, ni regional, el marco principal para la incorporación de medidas de adaptación concretas para enfrentar los impactos esperados es el nuevo Plan Regional de Adaptación para la RMS. Este plan está vinculado con los Planes Sectoriales de Adaptación y el Plan Nacional de Adaptación que desarrollan el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) y el SEREMI Medio Ambiente. El MMA es responsable de proponer políticas y formular programas y planes de acción en el ámbito del cambio climático. Otra línea importante es la Estrategia de Desarrollo Regional elaborada por el Gobierno Regional (GORE) a lo largo del año 2012. Un hito importante este 2012 fue la formación dentro de la Comisión de Medio Ambiente del CORE (Consejo Regional) de una subcomisión para el cambio climático lo que evidencia que a pesar de las dificultades existentes el tema está recibiendo mayor importancia dentro de la agenda política.

Una gran cantidad de instrumentos de carácter político relacionados con temas claves como: agua, energía, uso del suelo y vulnerabilidad existen en la actualidad. No obstante, estos instrumentos no generan la obligación de ejecución y/o cumplimiento de metas, sino más bien entregan directrices generales que pocas veces se traducen en programas/proyectos concretos. La mayoría de los instrumentos (políticos, normativos, ejecutivos) anunciados en la RMS no están vigentes, pero fueron considerados en la elaboración del presente plan como una oportunidad para la incorporación de medidas de adaptación concretas y la definición de objetivos de cada política y planes o programas que derivan de ella.

ADAPTACIÓN MIENTRAS SE REDUCEN LAS AMENAZAS DE CALOR EXTREMO E INUNDACIONES

La condición física de varias partes de la RMS aumenta la probabilidad de la ocurrencia de inundaciones y calor extremo. Además, el proceso de expansión urbana no toma en cuenta ni factores climáticos ni funciones de las áreas naturales. Por eso, las amenazas de inundaciones y calor extremo crecen con la expansión urbana y la pérdida de áreas verdes (véase capítulo 6). El aumento de ambas amenazas en la RMS se ve acelerado por el cambio climático.

En este sentido, existen amplias posibilidades para desarrollar medidas con el objetivo de reducir las amenazas de inundaciones y calor extremo. En primer lugar, las medidas pueden dirigirse a distintas causas y sectores del complejo sistema a partir del cual se generan amenazas. Estos son por ejemplo: el sellado del suelo, la baja disponibilidad de áreas verdes, la falta de obras estructurales para la reducción de inundaciones, procesos de planificación urbana, entre otras. Las medidas concretas son incluidas en el Plan Regional de Adaptación para la RMS.

La medida “Sistema de monitoreo para el cambio climático - WebGIS” se basa en la creación de una base de datos con una interfaz web. Esta medida permite superar uno de los obstáculos principales para el desarrollo de medidas: la escasez de datos, información general y estudios al nivel regional. Esta medida podría apoyar además la disseminación y aplicación de resultados de estudios actualmente disponibles y de los que se realicen en el futuro. Adicionalmente, el desarrollo de planes y otras medidas, y la



colaboración entre sectores y decisores políticos también podría apoyarse en la realización de la medida, puesto que esta podría utilizarse como la parte digital de una plataforma común. La introducción de un “factor verde para nuevas edificaciones”, es una política de planificación al nivel regional o municipal que exige cambios legales. La medida también podría funcionar a través de incentivos fiscales. Esta medida permite mejorar la gestión de aguas pluviales y la compensación local de cambios de uso de suelo que ocurren en el proceso de urbanización. La reactivación de canales de riego en el piedemonte andino es muy específica para el contexto local. Es el resultado de observaciones de campo y del intento de encontrar una medida que se pueda poner en práctica rápidamente para reducir directamente las amenazas de inundaciones.

ADAPTACIÓN MIENTRAS SE REDUCE LA EXPOSICIÓN A AMENAZAS

La exposición a inundaciones y calor extremo en áreas urbanas afecta a todos los grupos socioeconómicos. Para el futuro se espera un auge en la exposición a inundaciones y calor extremo por parte de los hogares pertenecientes a un estrato social bajo y viviendas de calidad precaria. Por consiguiente, medidas de adaptación deberán asegurar la protección de la población expuesta y la disminución de su vulnerabilidad inhibiendo el surgimiento de nuevas exposiciones. Más allá de estos mecanismos instrumentales, se requiere la necesidad de actuar sobre todo en el ámbito de la desigualdad en relación a la exposición a amenazas.

Sin duda, el tema más importante respecto a la disminución de exposición de la población tanto a inundaciones como a calor extremo es la política de áreas verdes. Se requiere frenar la disminución de áreas verdes existentes, así como el aumento de áreas verdes en nuevas urbanizaciones y zonas vulnerables. La protección del arbolado urbano en jardines particulares y su aumento en vías públicas, así como la utilización de pavimentos permeables son importantes.

Para disminuir los costos de mantenimiento de las áreas verdes, reducir las amenazas y fortalecer la participación ciudadana, es importante “manejar y crear áreas verdes urbanas con participación ciudadana”. Además es importante plantar especies de árboles/plantas

que tengan un bajo nivel de consumo de agua y que sean aptas para sobrevivir a elevadas temperaturas. Asimismo, se hace necesario una adaptación de la arquitectura e infraestructura urbana mediante una normativa que regule las construcciones en áreas de alto riesgo fomentando el uso de ciertos materiales y diseños. Un ejemplo será la integración de estructuras verdes en los



edificios, por ejemplo paredes y techos verdes. Consecuentemente, un “Programa para la implementación de techos verdes” podría ayudar la retención, atenuación y tratamiento de aguas lluvias. Adicionalmente, los techos reducen el calor extremo dentro del edificio debido a su capacidad de absorción de radiación solar y evapotranspiración. Para fomentar una arquitectura retenedora al calor se podrían dar incentivos y realizar proyectos pilotos, por ejemplo en el ámbito de las viviendas sociales. La medida “Técnicas de enfriamiento pasivo para hogares con bajos recursos” destaca por su bajo costo de implementación y una alta capacidad para minimizar la absorción de energía solar y la maximización de la emisión térmica. Así, contribuiría a la reducción del consumo energético de la vivienda.

ADAPTAR EL SECTOR DE AGUA

En el sector agua se espera una disminución de agua disponible y una mayor frecuencia de años secos. Debido a la introducción de tecnologías nuevas, la demanda total de agua tiende a disminuir. Los retos en el futuro se deben enfrentar en estos años secos, cuando la demanda de agua excede la disponibilidad con creces. Por estas razones, es de suma importancia encontrar nuevas medidas para garantizar el suministro oportuno de agua en años de escasez: el consumo de agua diario per cápita en algunas comunas es muy alto y tiene un gran potencial para la aplicación de medidas de ahorro de agua.

Un tema relevante es favorecer la conciencia pública sobre el tratamiento y reúso de aguas grises, así como la implementación del sistema en nuevas áreas residenciales. La idea de tratar el agua, levemente contaminada, procedente de viviendas para su reutilización en el riego de plantas, lo que ofrece la posibilidad de contar con agua para regar plantas durante todo el año y la ventaja de ahorrar grandes cantidades de agua potable. Introducir instalaciones sanitarias de bajo consumo de agua en cocinas y baños de viviendas y hoteles existentes y nuevos contribuye a minimizar la demanda de agua a nivel doméstico.

Dado que el sector agricultura representa la mayor demanda de agua en la RMS, una posibilidad de ahorrar agua y reducir su demanda se da con la introducción de nuevas tecnologías eficientes de riego. Con las tecnologías de riego actuales resulta compleja la reducción de la demanda de agua en el sector debido a las grandes pérdidas de agua por

fugas, el riego ineficiente de plantas y el cultivo de plantas con un consumo de agua elevado. Implementar una estructura de gestión del agua para la cuenca del Maipo/Mapocho debe tener en cuenta que aparte de las tecnologías mencionadas se deben realizar modificaciones a nivel institucional, ya que el apoyo de este sector será esencial.

ADAPTAR EL SECTOR DE ENERGÍA

El sector energía es uno de los mencionados con más frecuencia en relación al cambio climático. Esto se debe a que el sector energía es uno de los principales generadores de GEI con su consecuente contribución al cambio climático, pero también a que dicho sector se ve afectado por este fenómeno. Para la RMS se espera que el riesgo de una falla en el sistema de electricidad aumente en el futuro.

En general, existen dos estrategias principales para reducir la vulnerabilidad del suministro eléctrico. La primera es reducir el consumo de electricidad y la segunda es la diversificación de la producción de electricidad. Para la implementación de estas dos estrategias existen varias medidas. La formación de grupos públicos del sector energía en GORE y en las comunas que tiene la misión de informar a la población, instituciones y empresas sobre la reducción del consumo energético y el uso de fuentes energéticas renovables locales. La educación sobre el cambio climático y el uso de la energía tiene que desarrollarse puesto que informar y educar a la población se consideran aspectos claves; no obstante, no son suficientes para lograr los cambios necesarios en el uso de energía y la diversificación en la producción energética. Por ende, la reducción del consumo energético en edificios juega un papel clave y conlleva la introducción de nuevas normas y leyes sobre el consumo máximo de energía en edificios y construcciones. Con una diversificación de las fuentes de energía para el suministro energético podría promover el aumento del uso de fuentes de energía locales renovables.



Todas las medidas de adaptación deberían estar acompañadas por campañas de educación, capacitación y sensibilización de la ciudadanía y los funcionarios públicos. Se requiere una política integral y una institución coordinadora de las actividades para poder elaborar y llevar a la práctica las medidas propuestas de una manera eficaz, y así disminuir la vulnerabilidad urbana.

Además, hay que destacar que las respuestas adaptativas también pueden generar efectos recíprocos - tanto positivos como negativos. Estos efectos recíprocos de carácter intersectorial muestran la necesidad de evaluar los beneficios de cada medida y sus efectos sobre otras medidas antes de su implementación.

- **Adger, N. (2003):** Social Capital, Collective Action and Adaptation to Climate Change. *Economic Geography* 79, 387-404.
- **Cai, Y. P., Huang, G. H., Tan, Q. & Yang, Z. F. (2011):** An integrated approach for climate change impact analysis and adaptation planning under multi-level uncertainties. Part I: Methodology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 2779-2790.
- **COPENHAGEN ACCORD (2009) En:** http://unfccc.int/meetings/copenhagen_dec_2009/items/5262.php. (Consultado: 23.10.2012).
- **Cortes, G., Schaller, S., Rojas, M., Garcia, L., Descalzi, A., Vargas, L. & McPhee, J. (2012):** Assessment of the current climate and expected climate changes in the Metropolitan Region of Santiago de Chile. UFZ-Report, Leipzig. (<http://www.ufz.de/index.php?de=5902>).
- **ECLAC – Economic Commission of Latin America and the Caribbean (2009):** Social Panorama of Latin America 2009. Santiago de Chile. En: <http://www.eclac.cl/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/0/37840/P37840.xml&xsl=/dds/tpl-i/p9f.xsl&base=/dds/tpl/top-bottom.xsl>. (Consultado: 23.10.2012).
- **EEA – European Environment Agency (2009):** Water resources across Europe - confronting water scarcity and drought. Copenhagen.
- **INE – Instituto Nacional De Estadísticas de Chile (2002):** Censo de Población y Vivienda 2002. INE, Santiago de Chile.
- **INE – Instituto Nacional De Estadísticas de Chile (2010):** Distribución de energía eléctrica según región y tipo de cliente. Año 2010. En: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_economicas/energia/series_estadisticas/informacion_2010.php. (Consultado: 01.08.2012)
- **IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2001):** Climate Change. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge.
- **IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007):** Climate Change. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge.
- **Klein, R. J. T., Eriksen, S. E. H., Naess, L. O., Hammill, A., Tanner, T. M., Robledo, C. & O'Brien, K. L. (2007):** Portfolio screening to support the mainstreaming of adaptation to climate change into development assistance. *Climatic Change*, 84: 23-44.
- **Krellenberg, K., Müller, A., Schwarz, A., Höfer, R. & Welz, J. (2012):** Flood and heat hazards in the Metropolitan Region of Chile and the socio-economics of exposure. *Applied Geography* (forthcoming).
- **Müller, A. (2012):** Areas at Risk - Concept and Methods for Urban Flood Risk Assessment. A case study of Santiago de Chile. En: Kraas, F., Heintzenberg, J., Herrle, P. & Kreibich, V. (Eds.): *Megacities and Global Change*, Bd. 3, Franz Steiner Verlag, Stuttgart, 265 p.

- **Naciones Unidas (1998):** Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático: Artículo 12 (<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>) (Consultado: 01.08.2012)
- **Naciones Unidas (1998):** Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático: Artículo 6 (<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>) (Consultado: 01.08.2012)
- **Perez, J. (2009):** Riesgo de inundación producto del cambio climático, Caso de estudio: Quebrada de Ramón. Master Thesis, Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- **PUC - Pontificia Universidad Católica de Chile (2011):** Analysis of agricultural water demands in the Maipo Basin. Technical Report. PUC, Centro de Cambio Global, Santiago de Chile.
- **Romero, H. & Vásquez, A. (2005):** Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del piedemonte andino de Santiago de Chile. Revista EURE, 41(94), 97-118.
- **Rosenzweig, C. & Wilbanks, T. J. (2010):** The state of climate change vulnerability, impacts, and adaptation research: Strengthening knowledge base and community. Climatic Change, 100, 100-103.
- **Roux, D., Rogers, K., Biggs, H., Ashton, P. & Sergeant, A. (2006):** Bridging the science-management divide: Moving from unidirectional knowledge transfer to knowledge interface and sharing. Ecology and Society, 11(1), 4.
- **Sabatini, S., Salcedo, R., Wormald, G. & Cáceres, G. (2010):** Tendencias de la Segregación en las Principales Ciudades Chilenas. PUC, INE. Santiago de Chile.
- **Sanchez-Rodriguez, R. (2009):** Learning to adapt to climate change in urban areas. A review of recent contributions. Current Opinion in Environmental Sustainability, 1, 201-206.
- **Satterthwaite, D., Huq, S., Pelling, M., Reid, H. & Lankao, P. R. (2007):** Adapting to Climate Change in Urban Areas: The possibilities and constraints in low- and middle-income nations. International Institute for Environment and Development.
- **SEC - Superintendencia de Electricidad y Combustibles de Chile (2010):** Statistical report of production, import and sale of crude oil, natural gas and derivatives, year 2010. En: http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,3429539&_dad=portal&_schema=PORTAL. (Consultado: 01.08.2012)
- **SISS - Superintendencia De Los Servicios Sanitarios (1999-2011):** Informe de gestión 1998-2011. Santiago de Chile.
- **Stern, N. (2007):** The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge, UK: Cambridge University Press. En: http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm.
- **Terram & Heinrich Böll Stiftung - Cono Sur (2010):** "Cartilla Ciudadana de Cambio Climático: Lo que debemos saber". http://www.cambioclimaticochile.cl/pdf/cambio_climatico_junio_2010.pdf (Consultado: 01.08.2012).
- **UNDP - United Nations Development Programme (2007):** Human Development Report 2007/2008, Fighting climate change: Human solidarity in a divided world. <http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2007-2008/>. (Consultado: 01.08.2012).
- **Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T. & Davis, I. (2004):** At risk. Natural hazards, people's vulnerability and disasters. London, Routledge.

PREPARÁNDONOS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

RECURSOS HÍDRICOS

INUNDACIONES

ENERGÍA

CALOR EXTREMO