



Profundización temática Estrategia de Resiliencia Gobierno Regional Metropolitano de Santiago



Capítulo

Cambio Climático en la Región Metropolitana de Santiago

Autores:

Centro de Cambio Global UC

Sebastián Vicuña, Eduardo Bustos

Greenlab UC

Camila Cabrera, Luis Cifuentes, José Miguel Valdés

CEDEUS UC

Jorge Gironás

Para



Santiago, Marzo 2017





Contenido

1.		Intro	oduco	ción: Cambio Climático como desafíos a la resiliencia de la RM	3
2. vi				zación básica de la Región Metropolitana en términos de actividades emisora Cambio Climático	
	2.2	1	Acti	vidad industrial como consumidores (y generadores) de agua y energía	4
	2.2	2	Acti	vidad residencial como consumidores de agua y energía	7
	2.3	3	Activ	vidad agrícola como consumidores de agua y emisores de gases de efecto invernad	erc
	2.4	4	Otro	os sectores y servicios como generadores de emisiones y consumidores de agua	18
		2.4.3	l	Generación de Residuos	19
		2.4.3	l	Riego de parques urbanos	19
3.		Esce	nario	os climáticos futuros, impactos previsibles en la RM	25
	3.2	1	Con	diciones climatológicas e hidrológicas de base	25
	3.2	2	Esce	enarios futuros e impactos	27
		3.2.	1	Escenarios climáticos futuros	27
		3.2.2	2	Cambios en la disponibilidad de agua en el río Maipo	29
		3.2.	1	Otros impactos	32
4.		Situa	ación	actual y proyectada de emisiones de gases de efecto invernadero en la RM	35
	4.2	1	Inve	ntario de emisiones actual para principales sectores de emisión	35
	4.2	2	Proy	vección futura de emisiones	39
5.		Estra	ategi	a y plan de acción para responder a los desafíos del Cambio Climático en la RM	41
	5.2	1	Mar	co conceptual y lineamientos generales para el desarrollo de la estrategia	41
	5.2	2	Med	lidas y plan de acción para la adaptación en la RM	44
		5.2.: Plan	_	Selección y Priorización de Medidas de Adaptación a ser desarrolladas dentro de	
	5.3	3	Med	didas y plan de acción para la mitigación en la RM	54
		5.3.2	l	Identificacion de potenciales medidas de mitigacion GEI	54
		5.3.2		Análisis Sectores Emisores e Impacto (cualitativo) de mitigación	60
		5.3.3 desa		Selección y Priorización de Medidas de Mitigación de Emisiones de GEI a adas dentro de un Plan de Acción	
6.		Con	clusio	ones	69
7.		Bibli	ogra [.]	fía	72





Introducción: Cambio Climático como desafíos a la resiliencia de la RM

Las ciudades, albergando a más de la mitad de la población del mundo poseen una situación única respecto de los desafíos del cambio climático. El cambio climático implica un nivel adicional de estrés en ambientes urbanos, incluyendo temas como olas de calor, cambios en disponibilidad de agua y ocurrencia de eventos extremos. Por otra parte, las ciudades son responsables de una fracción relevante de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de manera directa a través de la quema de combustibles fósiles y de manera indirecta a través del consumo de una serie de bienes desde la electricidad a los bienes que regularmente consumen los habitantes de la ciudad (Rosenzweig et al. 2011).

La Región Metropolitana de Santiago (RMS) no escapa de esta realidad con una población de más de 6 millones de habitantes (o poco más del 40% de la población del país) concentrada en la ciudad de Santiago y hogar también de una serie de actividades productivas y ecosistemas altamente valiosos. Al igual que otras zonas altamente urbanizadas en el mundo el cambio climático implica una serie de desafíos para la resiliencia de la RMS. Por una parte, los impactos del cambio climático, especialmente en relación con las condiciones hidrológicas y disponibilidad de agua pueden alterar diferentes componentes del ciclo del agua urbano. Tal como se explica en más detalle en secciones posteriores, el cambio climático, si no se toman medidas de adaptación anticipadas, podría sufrir impactos relevantes por ejemplo en términos de cortes de suministro de agua potable o eventos extremos asociados a cambios en los patrones de precipitación y cambios en temperatura. Por otra parte la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), causante del cambio climático, genera un problema a escala global (resiliencia planetaria) que puede afectar comercialmente la actividad exportadora de la región (alta huella de carbono). Adicionalmente la reducción en actividades que generan estas emisiones puede tener consecuencias en términos de resiliencia local al menos en dos aspectos: por una parte, la reducción en consumo de energía (eficiencia energética) genera una situación de mayor resiliencia frente a cualquier falla en el suministro de estos recursos (Ribeiro et al. 2015); por otra parte la emisión de un cierto tipo de compuesto con efecto radiativo (carbono negro) tiene efectos en la propiedades radiativas de glaciares y nieves en la cordillera acelerando su derretimiento por ende afectando la disponibilidad de recursos hídricos) (http://iccinet.org/andes-and-black-carbon).

Tomando en cuenta estos elementos de base el resto del documento hace una revisión de los temas relevantes relacionado con el cambio climático en la RMS, partiendo por una presentación de aquellas actividades que son a la vez vulnerables, pero también potenciales causantes del cambio climático, seguido de una revisión de la información existente respecto a patrones de emisión de GEI, escenarios climáticos e impactos asociados y una propuesta de medidas de adaptación y mitigación.





2. Caracterización básica de la Región Metropolitana en términos de actividades emisoras y vulnerables al Cambio Climático.

2.1 Actividad industrial como consumidores (y generadores) de agua y energía

El sector industrial es usuario de aguas en la región a partir de dos fuentes de agua principales: desde la red de distribución de agua potable (proveída por Aguas Andinas en su mayoría) y desde captaciones propias desde aguas subterráneas. Lamentablemente la información de los consumos efectivos desde las distintas fuentes no está disponible para poder realizar un análisis en profundidad. Sin embargo, es posible analizar su relevancia a partir de sus descargas líquidas, ya sea en cursos superficiales de agua o al sistema de alcantarillado.

Las aguas residuales se diferencian entre las aguas residuales domésticas y las aguas residuales industriales. Las primeras pueden ser catalogadas según el tipo de tratamiento recibido, para el año 2013 la distribución se observa según la siguiente figura.

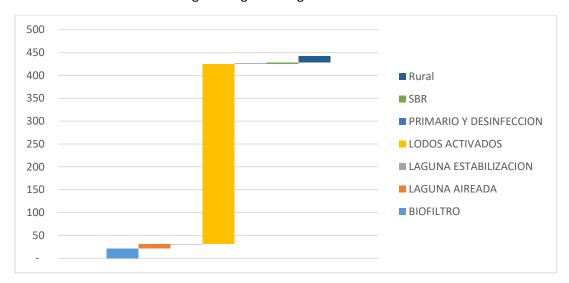


Figura 1. Caudal de aguas residuales domésticas [Millones de m3/año]. Fuente: En base a (SISS 2013).

Los residuos industriales líquidos (RILes) descargados a diferentes cuerpos de agua se encuentran todos normados a través de Decretos Supremos (DS), los cuales se diferencian en descargas superficiales directas a cuerpos de agua, normados por el Decreto Supremo N°90 sobre "Contaminantes asociados a descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales" y descargas al sistema de alcantarillado, normadas por el Decreto Supremo N°609 sobre "Contaminantes asociados a descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado", las cuales son tratadas en las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas. Cabe señalar que, con fecha de Julio de 2014 fue promulgado el Decreto N°53 que establece las Normas



Secundarias de Calidad Ambiental para el río Maipo, la cual establece nuevos normas relativas a la calidad de aguas en la cuenca¹.

De los 221.000 m³/d de RILes descargados por las industrias a alcantarillado, aguas superficiales y subterráneas, 140.000 m³/d son descargados a cuerpos superficiales, los cuales son reguladas por el D.S.90, equivalen al 63,28% del caudal total.

Se tienen aproximadamente 750 industrias que son fiscalizadas por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) y que descargan sus residuos a cuerpos superficiales, aguas subterráneas o alcantarillado siguiendo la distribución presentada en la Figura 2:

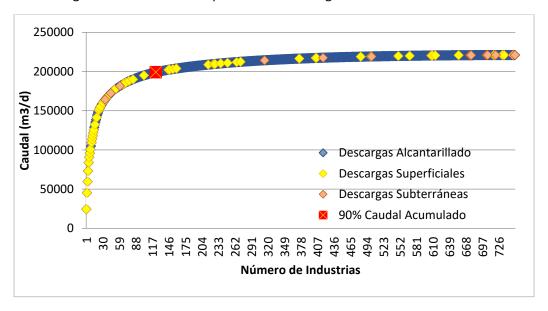


Figura 2. Caudal de descarga industrial acumulada según destino de la descarga. Fuente: SISS.

A partir del análisis de esta información, es posible identificar que del total de industrias emisoras, cerca de un 16% concentran el 90% del total de emisiones. Asimismo, las mayores descargas se realizan directamente a cuerpos de agua superficiales, tanto en el río Maipo, río Mapocho y esteros menores en área norte de la región (Quilicura, Lampa, Batuco) y zona sur poniente (Padre Hurtado, Peñaflor, Talagante).

En lo que respecta al consumo de energía asociado a la actividad industrial, posee dos tipos de consumos de energía: el consumo de combustibles y el consumo de electricidad. En la Región Metropolitana, el consumo de combustible es utilizado ampliamente en la industria para procesos de combustión en calderas, hornos, grupos electrógenos y similares. Por su parte, por consumo de energía eléctrica se entiende el retiro directo desde la red de distribución, no considerando la electricidad auto-producida, evitando de esta forma el doble conteo de las emisiones. Dentro del consumo de combustible se considera la combustión para la inyección de electricidad en el SIC, de las centrales ubicadas en la comuna de Renca. Estas centrales utilizan petróleo diésel, así como combustibles gaseosos.

-

¹ Link a la norma: http://bcn.cl/1vdlp



La Figura 3 desglosa el consumo de combustible del sector industrial de la Región Metropolitana, según combustible utilizado. Como se aprecia, la crisis del gas argentino afectó fuertemente al país desde el año 2007. Lo anterior se ve reflejado directamente en el consumo de combustible en el período 2007-2010. En la gráfica se observa como durante los años de la crisis, los derivados del petróleo fueron utilizados para compensar la falta de oferta de gas natural. Una vez que la situación comenzó a normalizarse con la instalación del terminal de regasificación en Quintero, el Gas Natural comenzó a aumentar su participación.

Para el año 2015, se observa que entre el gas natural y el diesel cubren cerca del 97% del consumo total de combustibles en la región. El primero representa el 58.4% del consumo de combustibles, mientras que el segundo corresponde al 38.6%.

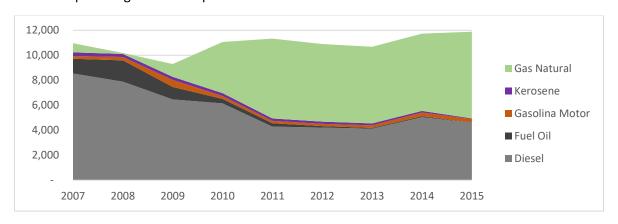


Figura 3. Consumo de combustibles [Tcal] en el sector industrial en la RM. Fuente: En base a Informes Estadísticos (SEC, 2016)

El consumo de combustible con fines de generación eléctrica por las centrales en la comuna de Renca, se puede observar en la siguiente tabla. En ella se observa el efecto de la crisis del gas, que se refleja en un alto consumo de diesel en los primeros años reportados.

Tabla 1. Consumo de combustibles para la generación eléctrica por combustible en centrales termoeléctricas de la RM. Fuente: En base a CNE 2016a

Año	Diesel [ton]	GLP [dam3]	GNL [dam3]
2008	195,857		179
2009	215,153		3,585
2010	223,269		116,189
2011	58,195	6,686	327,663
2012	55,978	8,439	288,729
2013	9,943	3,157	110,827
2014	124,041	4,426	84,855
2015	13,366	3,452	346,280



Respecto al consumo de energía eléctrica por la actividad industrial de la región, la siguiente figura presenta este consumo para los sectores agrícola, industrias y minero. Se aprecia que este decrece en el período 2007-2009, lo cual se explica por la crisis económica mundial del año 2008. Luego, desde el año 2009 en adelante presenta un crecimiento promedio de un 4%, el cual fue mayor durante los años siguientes a la crisis.

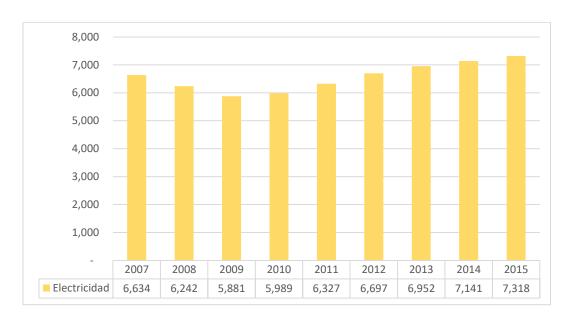


Figura 4. Consumo Electricidad Anual en la RM [GWh]. Fuente: en base a (INE 2011) y (CNE 2016b)

2.2 Actividad residencial como consumidores de agua y energía

La RMS, dada su alta población, posee una importante presión sobre los recursos hídricos disponibles, los cuales a su vez presentan una condición de vulnerabilidad debido a las distintas proyecciones de cambio climático para la cuenca, tal como lo veremos en capítulos siguientes de este documento.

El consumo de agua potable en las áreas urbanas corresponde al segundo mayor usuario del recurso luego de la actividad agrícola. Gran parte de la demanda está cubierta por las empresas sanitarias presentes en la región (Aguas Andinas, Aguas Cordillera y el Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Maipú, SMAPA), registrando para el año 2012 una producción total que supera los 700 millones de m3 al año, distribuidos en más cerca de 1.780.000 clientes². La fuente de este recurso es diversa, siendo para parte importante de la ciudad de Santiago el río Maipo, seguido por captaciones desde el río Mapocho, quebrada de Ramón y una serie de pozos profundos de captación de aguas subterráneas, según se muestra en la Figura 5

² Información proporcionada por Aguas Andinas en el marco del proyecto MAPA: Maipo Plan de Adaptación.



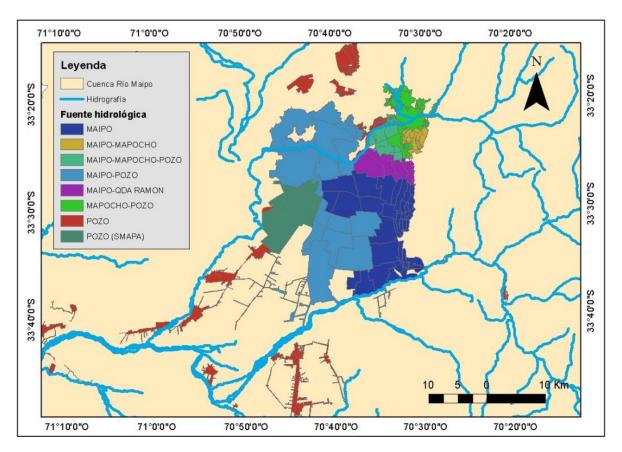


Figura 5. Sectores de distribución de agua potable según fuente de abastecimiento. Fuente: Elaboración propia en base a datos de Aguas Andinas y SMAPA.

En términos a la caracterización del consumo residencial de agua, el Centro de Cambio Global UC, y en conjunto con Aguas Andinas S.A. han desarrollado la encuesta titulada "Encuesta de Estudio de Calidad de Vida y Consumo de agua" realizada en el marco del proyecto MAPA: Maipo Plan de Adaptación³, la cual se aplicó a una muestra representativa de 543 viviendas del Gran Santiago durante 2013 y consta de 72 preguntas. A partir de este trabajo fue posible caracterizar los hogares respecto a variables socioeconómicas, condiciones de vivienda, y una serie de aspectos asociados al consumo de agua, tales como número y tipo de artefactos, tamaño de jardín, entre otras (CCG-UC & CEDEUS-UC 2016).

Los datos de consumo de agua de cada hogar muestreado fueron entregados por Aguas Andinas y SMAPA, de manera que se pudieron cruzar las características socioeconómicas y del hogar con el consumo mensual de agua entre enero de 2011 y diciembre de 2014, obteniendo la evolución del consumo para cada uno de esos hogares caracterizados por la encuesta como se muestra en la

³ Mayor información en www.maipoadaptacion.cl





Figura 6. Es posible apreciar que el consumo oscila entre 0 y 90 m3/mes, presentando una estacionalidad clara entre los meses de invierno y verano

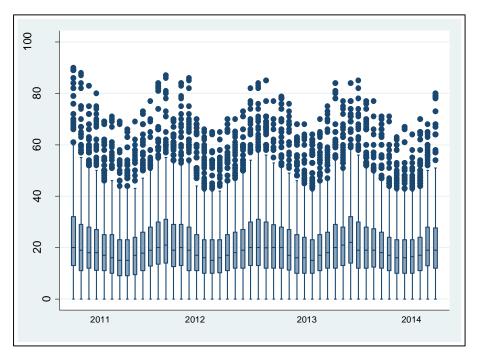


Figura 6. Consumo mensual para los 543 hogares de la encuesta (entre enero 2011 y diciembre de 2014).

La Figura 7 presenta, para el periodo 2011 – 2014, el consumo medio por comuna, reflejando evidentes diferencias en el consumo en la región, responden a una serie de variables asociadas al tipo y características del hogar, tales como nivel de ingreso, tamaño de la vivienda y tipo de artefactos, tamaño de jardín, entre otros.



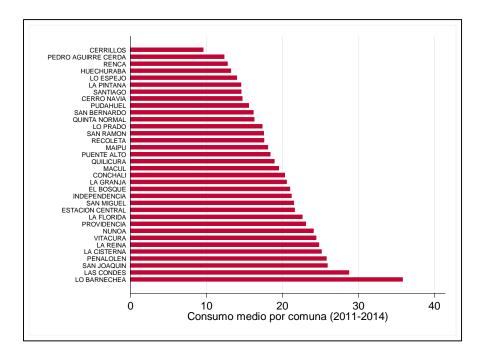


Figura 7. Consumo medio por comuna (m³)

En lo que respecta al consumo de energía de los hogares, el análisis aquí presentado corresponde al sector Comercial, Residencial y Publico, de ahora en adelante CPR.

En la Región Metropolitana, el consumo de combustible asociado al sector transporte, relacionados al consumo residencial y comercial, toma relevancia dado que proporcionalmente los consumos estacionarios son menores. Lo anterior se refleja en la relevancia de combustibles especialmente asociado a transportes como es el caso de las gasolinas de motor y el diésel. Para el sector CPR se observa que el consumo de gas natural se vio menos afectado que el consumo industrial. Sin embargo, existe un crecimiento a partir del año 2010, lo cual coincide con la instalación del terminal de regasificación. El GLP se ha visto desplazado, disminuyendo su consumo en el período en un 18%. Dicho consumo es superado sólo por el consumo de Gasolina de motor (42%) y el diésel (29%). El gas natural, el principal combustible del sector industrial, corresponde sólo al 10% del consumo energético de la región para el sector CPR, mientas que el 1% restante corresponde a Kerosene.





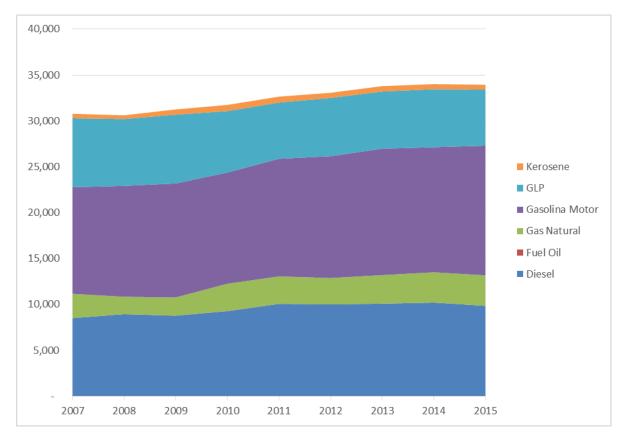


Figura 8. Consumo de combustibles CPR en la RM [TCal]. Fuente: En base a (SEC 2016)

Por otro lado, el consumo de electricidad por parte de los clientes CPR ha presentado un alza promedio de 2,5 % en el período observado. Sin embargo, es importante resaltar que en el período 2007-2009 la demanda se mantuvo estable sin variaciones significativas, como se observa en la Figura 9.





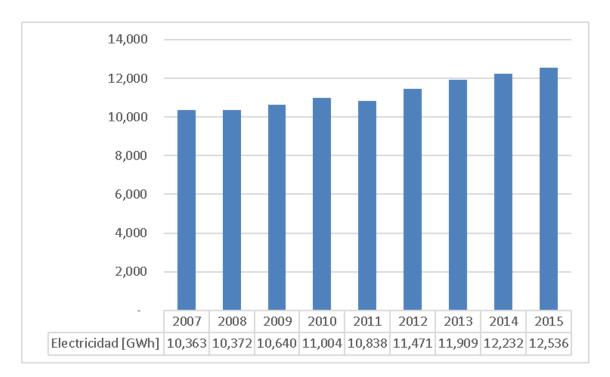


Figura 9. Consumo electricidad anual en la RM [GWh]. Fuente: En base a (INE 2011) y (CNE 2016b)

2.3 Actividad agrícola como consumidores de agua y emisores de gases de efecto invernadero

El río Maipo, principal fuente de suministro de la actividad agrícola de la RMS, se encuentra dividido en tres secciones legales para su explotación. La Primera Sección se sitúa entre San José de Maipo y el puente del ferrocarril de Paine a Talagante, la Segunda desde ese punto hasta la confluencia con el río Mapocho y la última sección desde la confluencia Maipo — Mapocho hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. En términos de relevancia, la Primera Sección del río Maipo (PSM) concentra la mayor cantidad de hectáreas, así como la actividad de mayor valor económico y el mayor uso de recursos hídricos de la región (Figura 10). Esta junta de Vigilancia está compuesta por siete Asociaciones de Canalistas y una empresa de Agua Potable (Tabla 2).



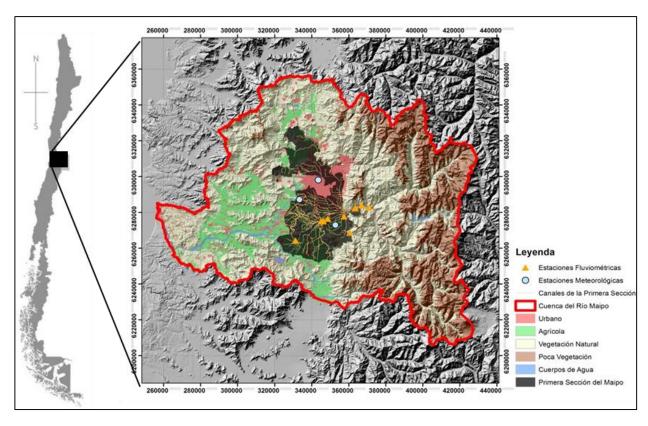


Figura 10. Ubicación de la cuenca y de la 1ra. Sección del Maipo

Tabla 2. Miembros de la Junta de Vigilancia de la Primera Sección del río Maipo y su superficie.

Asociación	Superficie (Ha)
Asociación de Canalistas de Canal del Pirque	21.095
Aguas Andinas (AA)	-
Asociación de Canalistas Sociedad Canal de Maipo (SCM)	76.778
Asociación Canal Huidobro	15.626
Asociación Canales Unidos de Buin (ACUB)	19.091
Asociación Canales de Maipo (ACM)	29.138
Asociación de Canalistas de Lo Herrera	4.678
Asociación de Canalistas Lonquen – La Isla	6.997

La superficie comprendida en esta primera sección alcanza las 173.402 ha, de las cuales 56.640 ha son destinadas al riego (INE 2007), observándose una evolución a la baja respecto al área total, dado el avance de la cobertura de la zona urbana en las zonas de frontera entre la ciudad y las áreas rurales (Figura 11)





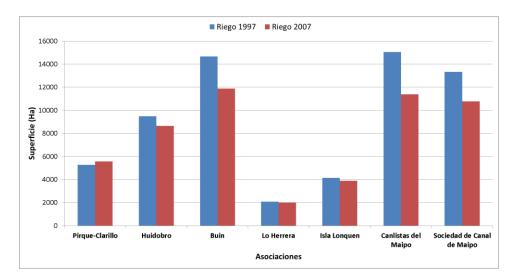


Figura 11. Evolución de la superficie de riego agrícola para distintias asociaciones de canalistas de la Primera Sección del río Maipo. (Fuente: elaboración propia a partir de los Censos Agropecuarios 1997 y 2007)



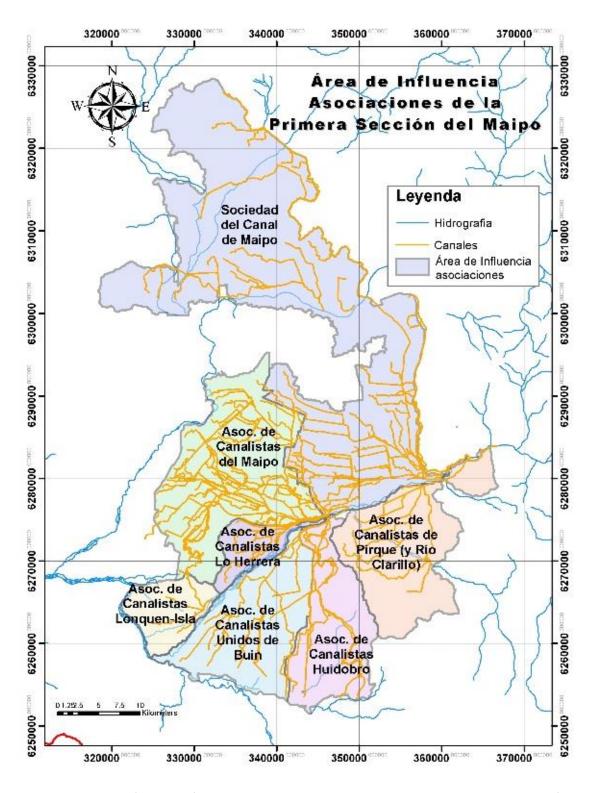


Figura 12. Detalle del área de Influencia de las Asociaciones de Canalistas de la Primera Sección del Río Maipo.



En lo que respecta al uso de agua por el sector agrícola, el actual Código de Aguas define el régimen de propiedad sobre los recursos hídricos basado en derechos de aprovechamiento que se pueden expresar en términos de caudal variable (lts/seg), o acciones constantes. La Primera Sección del Maipo posee 8.133 acciones que equivalen a derechos de aprovechamiento según la disponibilidad de agua en el río Maipo (Tabla 3). La distribución del agua dentro de la PSM se hace proporcionalmente de acuerdo a las acciones que le corresponden a las distintas Asociaciones de Canalistas y usuarios de agua (Tabla 4).

La dotación proporcionada a cada usuario se obtiene de la proporción de acciones que le corresponden y de la oferta hídrica disponible para el período de tiempo analizado.

Tabla 3. Caudal Máximo Extraíble en el río Maipo.

Mes	Caudal ¹ (m³/s)	Caudal ajustado ² (m³/s)	Mes	Caudal¹ (m³/s)	Caudal ajustado ² (m³/s)
Enero	144.6	155.4	Julio	66.1	71.0
Febrero	140.5	151.0	Agosto	64.9	69.7
Marzo	108.8	116.9	Septiembre	82.7	88.9
Abril	83.9	90.2	Octubre	120.5	129.5
Mayo	70.4	75.7	Noviembre	149.0	160.1
Junio	65.9	70.8	Diciembre	149.0	160.1

²Máximo caudal extraíble ajustado de 7568 a 8133 acciones

Tabla 4. Acciones por Asociación en la Primera Sección del río Maipo

Asociación	Acciones
Asociación de Canalistas de Canal del Pirque	653.2
Aguas Andinas (AA)	1517¹
Asociación de Canalistas Sociedad Canal de Maipo (SCM)	2564.3
Asociación Canal Huidobro	650.4
Asociación Canales Unidos de Buin (ACUB)	1046.5
Asociación Canales de Maipo (ACM)	1617.3
Asociación de Canalistas de Lo Herrera	53.9
Asociación de Canalistas Lonquen – La Isla	30.4

¹Aguas Andinas = Toma Independiente (1175) + Planta La Florida (317.7) + Canal Peral (24.3)

La oferta de agua generada a partir del caudal disponible a repartir y la fracción correspondiente según las acciones de cada asociación, son distribuidas mediante una compleja red de canales matrices, secundarios y terciarios a distintas zonas de la cuenca. A partir de esta oferta de agua, la actividad agrícola vinculada a la primera sección del río Maipo, ha permitido el desarrollo de distintos tipos de cultivo, aquellos principales se presentan a continuación.





Tabla 5. Cultivos principales en el Área de Influencia de la Primera Sección del río Maipo

Cultivo	Fracción de Superficie Total (%)	Fracción de Superficie Total (% Acumulado)
1. Uva de vino	23.5	23.5
2. Uva de mesa	16.0	39.5
3. Nogal	10.9	50.4
4. Ciruelo europeo	9.2	59.6
5. Maíz	5.6	65.2
6. Duraznero	5.4	70.6
7. Alfalfa	4.5	75.1
8. Almendro	3.7	78.8
9. Papa	3.4	82.2
10. Nectarino	3.2	85.4
11. Ciruelo japonés	3.2	88.6
12. Trigo	2.7	91.2
13. Palto	2.2	93.4
14. Choclo	1.7	95.1
15. Zapallo	1.3	96.5
16. Tomate	1.0	97.4
17. Limonero	0.6	98.1
18. Naranjo	0.6	98.6
19. Cebolla	0.3	99.0
20. Olivo	0.3	99.3
21. Zanahoria	0.03	99.33

A partir de esta caracterización, es posible apreciar que parte importante de la matriz de cultivo de la región está compuesta por fruticultura y viticultura de alto valor, así como cultivos forrajeros como maíz y alfalfa.

En lo que respecta a las emisiones de gases de efecto invernadero, el sector agrícola es una fuente de GEI diferentes al CO2, en ellos destaca las emisiones de metano producto de la fermentación entérica y el manejo del estiércol en el caso de la ganadería. El nivel de actividad de este sector, viene dado por la cantidad de cabezas de distintos animales existentes dentro de la región. Como se aprecia en la tabla, los sectores porcinos y aves de corral corresponden al tipo de ganadería que ha ejercido un mayor aumento de actividad en el periodo analizado.



Tabla 6. Ganadería en la RM [cabezas de animal]. Fuente: en base a (SNI Chile 2014)

Tipo de animal	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Tasa crec. Anual Prom.
Vacas lecheras	19,668	20,105	20,370	20,264	20,153	20,041	19,930	0.2%
Otros vacunos	82,265	84,067	85,173	84,731	84,049	83,373	82,702	0.1%
Ovinos	24,503	24,625	24,748	24,877	25,003	25,129	25,256	0.5%
Caprinos	4,447	4,433	4,419	4,407	4,394	4,381	4,368	-0.3%
Camélidos	6,351	5,973	5,595	5,442	5,158	4,889	4,635	-5.1%
Equinos	24,569	23,820	23,063	22,315	21,635	20,973	20,332	-3.1%
Mulas y asnos	1,932	1,964	2,004	2,037	2,074	2,112	2,151	1.8%
Porcinos	1,293,484	1,347,173	1,400,818	1,454,508	1,515,088	1,578,176	1,643,890	4.1%
Aves de Corral	19,838,872	20,647,295	21,455,717	22,264,140	23,072,562	22,803,088	24,689,407	3.7%

Otra fuente agrícola de GEI es el uso de fertilizantes en los cultivos, la volatilización de estas sustancias se transforma en óxido nitroso (N2O) un potente GEI. La aplicación de fertilizantes, según su origen natural o sintético, se presenta en la siguiente tabla. Se observa un decrecimiento de la aplicación de fertilizantes lo cual va de la mano respecto a la realidad nacional, donde se ha observado un decrecimiento de la aplicación de fertilizantes.

Tabla 7. Tipo de fertilizante aplicado en la RM [ton N]. Fuente: en base a (FAOSTAT 2016) y (ODEPA 2010)

Tipo fertilizante	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Tasa Crec. Anual Prom.
Sintético	12,910	15,710	14,110	13,870	10,990	10,700	11,700	-1.6%
Natural	5,848	5,764	5,666	5,804	6,005	6,346	5,961	0.3%
Total	18,766	21,477	19,777	19,679	16,999	17,048	17,662	-1.0%

2.4 Otros sectores y servicios como generadores de emisiones y consumidores de agua.

En lo que respecta al consumo de energía, y debido a la agregacion de los datos existentes, no es posible separar los sectores comercial y publico, del sector residencial y transporte. Los analisis de consumo de energia de comercial y publico se realiza en el punto correspondiente a actividad residencial.





Respecto a otros sectores consumidores de agua, más adelante se realiza la revisión sobre el componente de riego de parques y plazas urbanas de la región.

2.4.1 Generación de Residuos

El sector residuos en la región es también una fuente relevante de emisiones GEI, específicamente de metano. Este gas es liberado por la descomposición de material orgánico de los residuos. A grandes rasgos se diferencian dos tipos de residuos: los residuos sólidos y las aguas residuales. La siguiente figura muestra la generación de residuos de la región por tipo de residuo.

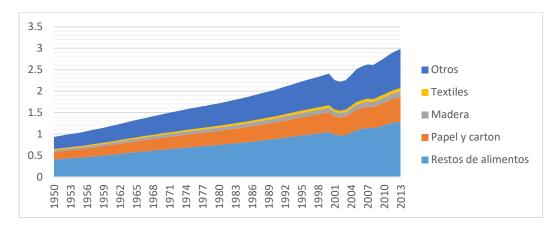


Figura 13. Generación de residuos por tipo en la RM [miles de ton/año]. Fuente: En base a (SNI Chile 2014).

2.4.1 Riego de parques urbanos

Las áreas verdes urbanas son una infraestructura imprescindible de las ciudades debido a sus múltiples beneficios. Si bien hasta fines del siglo XX las áreas verdes – y también el arbolado urbano - tuvieron una función principalmente ornamental dentro de la planificación urbana, progresivamente se fueron reconociendo otras funciones relevantes tales como: recreación, captura de contaminantes, regulación de temperaturas, infiltración de aguas lluvia, mejoramiento del paisaje urbano, entre las más importantes. El reconocimiento de diferentes funciones y beneficios de las áreas verdes ha implicado su priorización dentro de las políticas públicas, y también su inclusión como elemento clave en diversos tipos de políticas urbanas, como por ejemplo, los programas de Mejoramiento de Barrios y de Construcción de Parques Urbanos impulsados por el Ministerio de Vivienda; Planes de Descontaminación Atmosférica de diversas ciudades, supervisados por el Ministerio de Medio Ambiente; Planes de Seguridad Ciudadana, impulsados por el Ministerio de Interior, y Planes de Salud Pública orientados a aumentar la práctica de ejercicio en la población adulta, impulsados por el Ministerio de Salud y numerosos programas municipales destinados principalmente a la recuperación de terrenos eriazos y mejoramiento de espacios públicos mediante la construcción (o renovación) de áreas verdes. Esta condición explica la sostenida tasa de crecimiento de las áreas verdes urbanas en el Área Metropolitana de Santiago en las últimas décadas (Reyes-Paecke, en prensa), y su probable incremento futuro.





Así, un componente importante en el consumo de agua de la ciudad, es el correspondiente al riego de parques urbanos, los cuales según su composición y manejo pueden poseer tasas de consumo de agua relevantes, tal como se presenta en la figura a continuación.

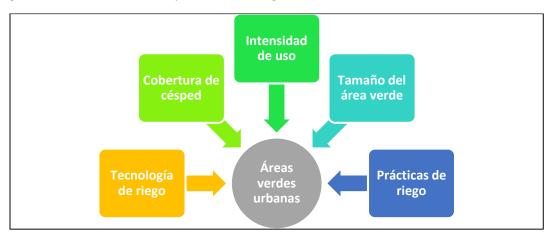


Figura 14. Factores que afectan el riego de áreas verdes urbanas en el Área Metropolitana de Santiago. (Fuente: CCG-UC, 2016)

En el Área Metropolitana de Santiago (AMS), existe un conceso respecto al déficit de áreas verdes consolidadas, estando por debajo de los estándares recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 9,0 m2/hab (Reyes & Figueroa 2010). En este sentido, existe una desigualdad entre las comunas de la RMS, ya que la concentración de áreas verdes consolidadas se da en las comunas de más altos ingresos (Reyes & Figueroa 2010; Ministerio del Medio Ambiente 2011). En términos de superficie, la comuna con mayor superficie de áreas verdes per cápita es Vitacura (56,2 m²/hab) y la de menor es El Bosque (1,8 m²/hab) (Figura 15). En términos totales, las comunas con menor superfície de áreas verdes corresponden a Independencia (17,4 ha), San Miguel (21,4 ha), Quinta Normal (25,3 ha), Lo Espejo (30,9 ha) y El Bosque (31,0 ha), todos con una mayor concentración de estratos socioeconómicos bajos, a excepción de San Miguel, que posee una mayor presencia de estratos medios (Reyes & Figueroa 2010; Ministerio del Medio Ambiente 2011).





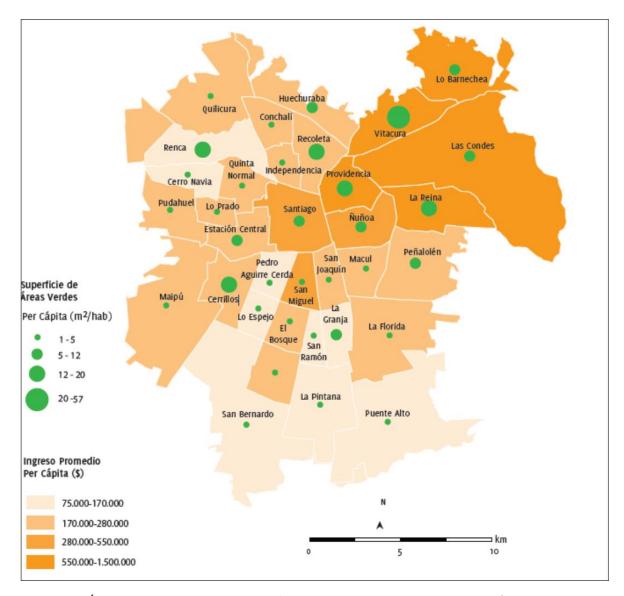


Figura 15. Áreas verdes por habitante (m2/hab) e ingreso promedio per cápita (\$) en las comunas del Gran Santiago (Fuente: Ministerio del Medio Ambiente 2011).

Ahora, al caracterizar las prácticas, tecnologías y frecuencias de riego asociadas a parque urbanos y plazas, existe una alta variación en las prácticas asociadas, la cual están asociadas a la administración correspondiente, recursos, tipo de cobertura y otros factores (CCG-UC & CEDEUS-UC 2016). A modo de ejemplo, en la Tabla 8 se presentan algunas características del riego de parques administrados por Parque Metropolitano





Tabla 8. Sistemas, métodos y frecuencia de riego en temporada de verano en parques administrados por Parque Metropolitano de Santiago. (Fuente: CCG-UC, 2016)

Parque	Método de Riego	Sistema de Riego	Frecuencia	Horarios de riego	Riego nocturno
André Jarlan	Manual y tecnificado	Mangueras, aspersores, difusores pop-up, goteo subterráneo y difusores de flujo bajo	Todos los días	8:00 am /12:00 pm	Si
Bernardo Leighton	Manual y tecnificado	Mangueras, aspersores, difusores pop-up y goteo superior	Dos veces al día	6:00 - 12:00 y 13:00 - 16:00	No
Cerro Blanco	Manual	Mangueras y aspersores	Todos los días	10:00 - 12:00	No
Cerros de Chena	Manual y tecnificado	Mangueras, aspersores, difusores pop-up y goteo superior	Todos los días	8:00 a 17:00	Si
La Bandera	Manual	Mangueras y aspersores	Dos veces al día	10:00 -12:00 y 15:00 - 17:00	Si
La Castrina	Manual y tecnificado	Mangueras y aspersores	Todos los días	7:00 -14:00	Si
La Platina	Manual y tecnificado	Mangueras, aspersores, difusores pop-up y goteo superior	Todos los días	Nocturno con sistema tecnificado; durante el día riego manual	Si
Lo Varas	Manual	Mangueras, aspersores y difusores pop-up	Dos o tres veces al día	8:00 - 9:30	No
Mahuidahue	Manual	Mangueras y aspersores	Todos los días	8:30 – 17:30	No
Mapocho Poniente	Manual	Mangueras y aspersores	Todos los días	9:00 – 12:30	No
Mapuhue	Manual	Mangueras, aspersores y difusores pop-up	Todos los días	7:00 – 11:00	No





Parque	Método de Riego	Sistema de Riego	Frecuencia	Horarios de riego	Riego nocturno
Parque de la Infancia	Manual y tecnificado	Mangueras, aspersores, difusores pop-up y goteo superior	Todos los días	El horario depende de la llegada de agua desde el Canal Metropolitano	No
Peñalolén	Manual y tecnificado	Mangueras y aspersores	Todos los días	Nocturno con sistema tecnificado; durante el día se riegan el césped	Si
Quebrada de Macul	Manual y tecnificado	Mangueras, aspersores y difusores pop-up	Dos veces al día	Riego diario antes de las 8:00 am; en las tardes riegan algunos árboles y césped	No
Santa Mónica	Manual	Mangueras y aspersores	Dos veces al día	Nocturno con sistema tecnificado; riego manual en las tardes	Si
Violeta Parra	Manual y tecnificado	Mangueras, aspersores y por goteo superior	Todos los días	6:00 – 12:00	Si

En lo que respecta a plazas públicas, el riego es realizado por personal municipal en distintos horarios según programación, utilizando distintos sistemas de riego, principalmente manual, lo que implica menores eficiencias respecto a la aplicación de la lámina de agua.

En lo que respecta al consumo efectivo de agua, a partir del análisis de los datos de consumo de parques y plazas, se observa una variación estacional del riego, en respuesta a los cambios en los patrones de temperaturas. En parques la mayoría de los datos se concentra en valores de consumo bajo los 5.000 m³ en los meses cálidos y bajo los 2.500m³ en meses más fríos, los cuales varían según tipo y frecuencia de riego y tamaño del área regada, la cual para parques urbanos en general no supera las 5 hectáreas (Figura 16). De la misma manera en plazas los consumos mensuales se concentran bajo los 2.000 m³ y sólo en un menor número de casos superan los 3.000m³ en meses cálidos (Figura 17). La gran mayoría de las plazas (70%) tiene una superficie comprendida entre los 500 y 1.000m². Las figuras a continuación muestran el consumo de agua en parques y plazas, la temperatura media mensual y la temperatura máxima mensual (media de las máximas diarias), principales variables explicativas de la variación estacional del consumo.



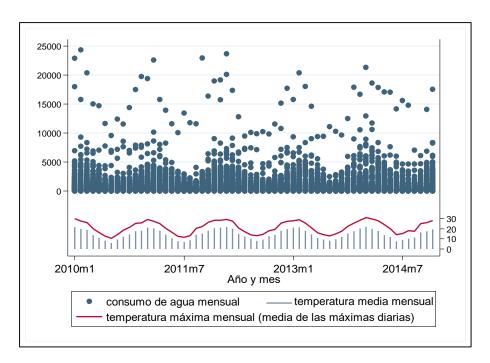


Figura 16. Consumo de agua mensual, temperatura media mensual y temperatura máxima mensual, en parques urbanos AMS, 2010-2014. (Fuente: CCG-UC, 2016)

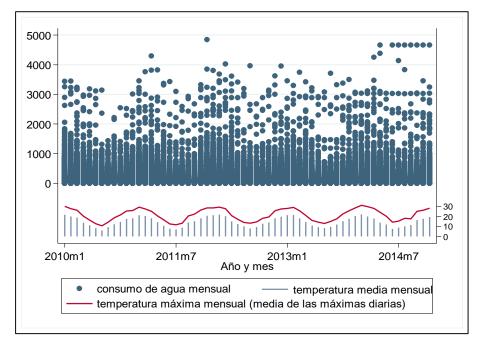


Figura 17. Consumo de agua mensual, temperatura media mensual y temperatura máxima mensual, en plazas del AMS, 2010-2014 (Fuente: CCG-UC, 2016)



3. Escenarios climáticos futuros, impactos previsibles en la RM

3.1 Condiciones climatológicas e hidrológicas de base

Los límites geográficos de la RMS, coinciden de manera importante con la cuenca del río Maipo, a excepción del área de desembocadura, perteneciente a la región de Valparaiso y al área de San Pedro y Alhué, que no forman parte de la cuenca (Figura 18). Dada esta particularidad, es que para efectos de su caracterización climática e hidrológica es posible referirse a ellas de manera indistinta.

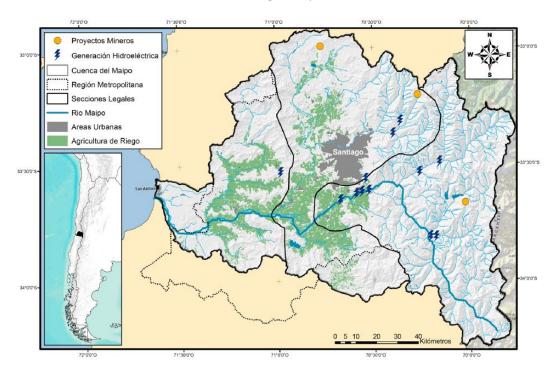


Figura 18. Hidrografía, secciones legales y usuarios presentes en la cuenca del río Maipo. Fuente: Elaboración propia.

La cuenca del río Maipo se encuentra situada en la zona central de Chile, entre 32º 55′- 34º15′ de latitud Sur y 69º 46′- 71º 43′ de longitud Oeste, siendo prácticamente coincidente en sus límites con la región Metropolitana de Santiago. Nace en las laderas del volcán Maipo a 5.523 m.s.n.m. y recorre una longitud de 250 kilómetros hasta desembocar en al Océano Pacífico, cubriendo una superficie levemente superior a los 15.000 km².

La cuenca presenta un clima mediterráneo semiárido, con precipitaciones concentradas en los meses de invierno y temperaturas máximas en los meses de verano (ver Figura 19). Por otra parte la precipitación en la cuenca es altamente variable y de acuerdo a estudios previos (ej. CEPAL 2009) proyecciones de cambio climático indican una fuerte tendencia a la baja y un alza en las temperaturas. En su origen en la cordillera recibe los aportes de los ríos Volcán, Yeso y Colorado, siendo este ultimo el de mayor importancia en esta zona, alcanzando un caudal medio a la salida de la cordillera de 115 m³/s. En su zona media su principal afluente es el río Mapocho, el cual atraviesa la ciudad de Santiago, presentando un caudal medio anual de 35m³/s. En su tramo final, recibe el



aporte de algunos esteros y cauces menores, llegando a su desembocadura con un caudal medio anual de 150 m³/s. Esta configuración le da al sistema un régimen hidrológico de alimentación mixta, siendo marcadamente nival en zonas altas y pluvial en las zonas bajas.

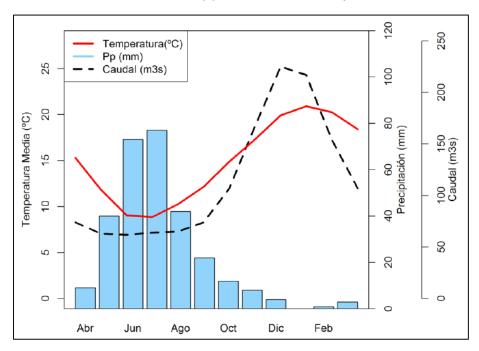


Figura 19. Hidroclimograma de la cuenca del río Maipo. Precipitación y temperatura de la estación Quinta Normal (560 msnm) y Caudal del Río Maipo en el Manzano (1.230 msnm.)

En lo que respecta al uso del agua en la cuenca, ésta se encuentra dividida en tres secciones legales (ver Figura 18). Dentro de éstas los usuarios son diversos. Se cuentan entre ellos una importante área agrícola, con mas de 136.000 há. bajo riego de las cuales el 50% aproximadamente corresponden a cultivos permanentes de viñas y frutales, las que poseen una demanda de agua concentrada en los meses de primavera y verano. Por otra parte está el área urbana metropolitana de Santiago, la cual, con sus más de 6 millones de habitantes, ejercen una creciente y constante demanda de recursos, tanto en lo que respecta a consumo domiciliario e industrial, así como también el riego y la mantención de parques y jardines. Se suman como usuarios una serie de centrales hidroeléctricas, que en la actualidad suman un poco más de 300 MW de capacidad instalada, las cuales en su totalidad corresponden a centrales de pasada ubicadas en la zona cordillerana y precordillerana de la cuenca. Se agregan también como usuarios las faenas mineras existentes en la cuenca, principalmente en su parte alta y norte, asociadas a extracciones de cobre y carbonatos de calcio. Finalmente, en términos ambientales, es importante mencionar que la cuenca se inserta en un ecosistema mediterráneo con una de los mayores niveles de biodiversidad y endemismo de especies en Chile siendo utilizado el río también de manera directa o indirecta en diversas actividades recreativas y/o de esparcimiento.





3.2 Escenarios futuros e impactos

3.2.1 Escenarios climáticos futuros

La necesidad de proyectar las condiciones futuras de la cuenca del río Maipo, en lo que respecta a su hidrología, comportamiento de la demanda de agua y otros indicadores que ayuden a evaluar la vulnerabilidad futura hacen necesario contar con información climática que incorpore tanto elementos de variabilidad como de cambio climático.

En este sentido es necesario implementar una metodología que sea capaz de representar de manera realista, la variabilidad histórica presente, muy relevante en escenarios de mediano plazo y que además se capaz de incorporar la señal de cambio climático de largo plazo. Para esto el proyecto MAPA, ha utilizó una metodología de desarrollo de información climática futura desarrollada por el International Research Institute for Climate and Society (IRI) de la Universidad de Columbia, EE.UU. (Greene et al. 2012).

En lo que respecta a las proyecciones de señal de cambio climático de largo plazo, éstas se obtienen desde los Modelos de Clima Global (GCM's,por sus siglas en inglés) los cuales utilizan para realizar estas proyecciones distintos escenarios de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Los resultados de los GCMs entregan la magnitud, temporalidad y dirección del cambio del clima futuro en el área de estudio.

Para el caso de la cuenca del río Maipo, y en el marco de este proyecto, se obtuvieron las proyecciones de cambio de la precipitación y temperatura para los grupos de escenarios CMIP3 (IPCC 2007) y CMIP5 (IPCC 2013) que a su vez consideran los escenarios de emisión SRES (B1, A1B y A2) y RCP (2.6, 4.5, 6.0 y 8.5) respectivamente. La información proveniente de los GCMs se escala para representar la condición correspondiente a la estación meteorológica Quinta Normal.

Se puede apreciar primero en la Figura 20 que las proyecciones muestran para ambos grupos de escenarios, una tendencia de reducción en las precipitaciones (promedio de treinta años respecto al periodo base) para la mayor parte de los GCMs considerados. Esta señal es más intensa hacia periodos más tardíos y al considerar escenarios más severos de emisiones, con disminuciones que van desde aproximadamente un 10% en un periodo temprano (2010-2040), hasta un 30% para escenarios severos hacia fines de siglo. Para el caso de las temperaturas medias (promedio de treinta años), se observa un calentamiento progresivo, desde 1ºC por sobre la temperatura media histórica para el periodo 2010-2040, y aumentando hacia promedios de 2.5ºC y 3.5ºC para los escenarios de emisiones más severos para el periodo tardío (2070-2100).



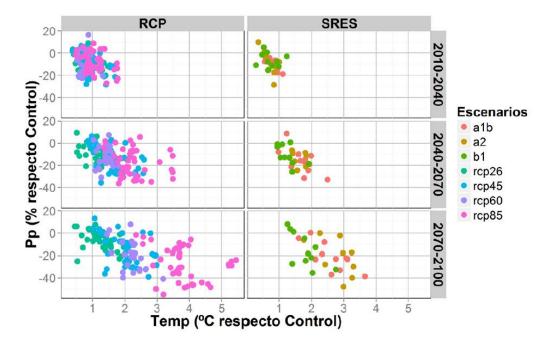


Figura 20. Proyecciones de cambio futuro respecto al periodo control para temperatura u precipitaciones en la estación Quinta Normal, para el promedio de tres periodos futuros y dos grupos de escenarios (SRES y RCP). Fuente: Elaboración propia.

Dada la alta variabilidad climatológica existente en esta cuenca, es necesario extender el análisis para no sólo incluir las condiciones promedio a nivel climatológico (promedio de 30 años) sino que también estudiar, la variabilidad interanual. La Figura 21 muestra este efecto según los resultados del grupo de escenarios RCP (IPCC 2013). A diferencia de la figura anterior, cada punto en esta figura presenta la proyección para un año en particular, respecto al promedio del periodo base de cada modelo. Vemos en este caso que la variabilidad en las condiciones de precipitación se mantiene en los escenarios futuros pero cambia de manera clara la media. En el caso de la temperatura vemos en cambio que hay variaciones en la media y un aumento progresivo en la variabilidad. Esto último se puede deber a los distintos grados de sensibilidad de los modelos GCM considerados y tambien al efecto que tienen los escenarios de emisión. El efecto de estos cambios es notorio y vemos que ya a mitad de siglo es muy poco probable tener un año con temperaturas inferiores al máximo histórico.





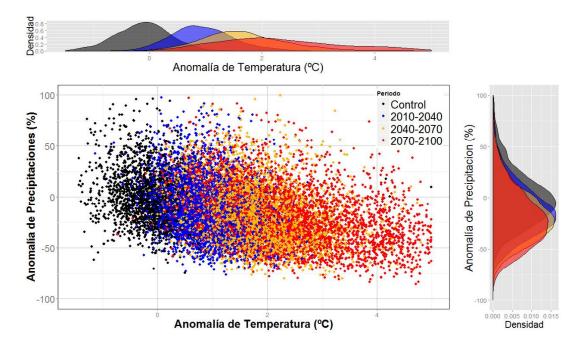


Figura 21. Distribución de las anomalías a nivel anual de temperaturas y precipitaciones proyectadas para todos los modelos del grupo de escenarios RCP, según periodo futuro. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Cambios en la disponibilidad de agua en el río Maipo

Los efectos de estos escenarios de clima futuro sobre el caudal del río Maipo han sido analizados para el periodo futuro 2030 – 2050, mediante la incorporación de información climática en modelos de simulación de recursos hídricos, desarrollados para la cuenca del río Maipo en el marco del proyecto MAPA.

Un primer elemento importante de analizar es el estado de los glaciares, tanto como por su valor cultural/estético, así como también por su aporte hidrológico. En un primer ejercicio de evaluación de estos impactos en la criósfera de la cuenca del Maipo, mediante modelación explícita de la dinámica glaciar, todos los escenarios futuros de cambio climático (periodo 2030-2050) muestran una disminución de la superficie cubierta por glaciares siguiendo la tendencia de retroceso histórico que ha existido en la cuenca (Figura 22).



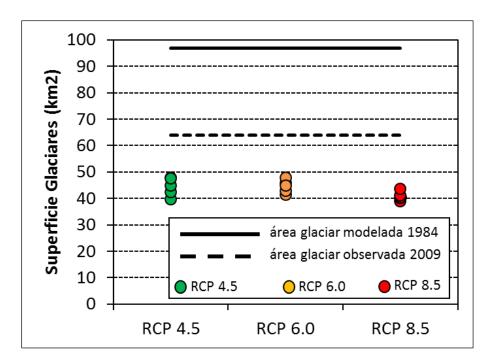


Figura 22. Cambio modelado en el área glaciar promedio en la subcuenca de Maipo en Las Hualtatas para tres escenarios de cambio climático para el periodo 2020-2050

A partir de estos cambios proyectados en superficie, es posible prever cambios en la hidrología de la alta cordillera, principalmente en los aportes de caudal glaciar y su efecto en la temporalidad de caudales. La figura a continuación, muestra los resultados de modelación de la hidrología en la estación Maipo en Las Hualtatas, contrastando un escenario pesimista de cambio climático (RCP 8.5) con la hidrología histórica. Se observa una importante reducción en el aporte de caudales a partir de glaciares blancos, en el periodo de verano, así como un aumento en los caudales de invierno, dado el aumento de temperatura con el consecuente aumento en la línea de nieve.





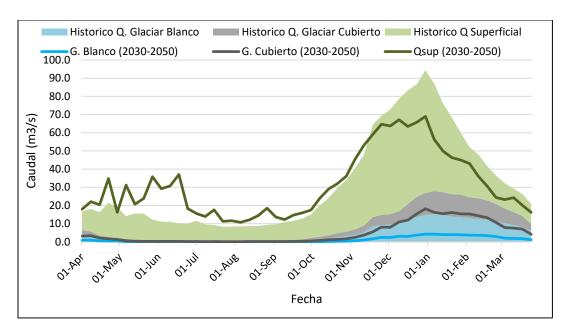


Figura 23. Caudal promedio semanal para el punto de control Maipo en Las Hualtatas para el periodo histórico (1984 – 2009) y futuro (2030-2050) bajo un escenario pesimista de cambio climático (RCP 8.5).

Estos impactos en reducción y cambio en la temporalidad de los caudales en la zona de alta cordillera (Maipo en Las Hualtatas) son consistentes para toda el área cordillerana de la cuenca, lo que se traduce en cambio observables aguas abajo, hasta la salida del sector del cajón del Maipo.

En la Figura 24 se presenta del caudal medio semanal para el rango de todos los escenarios considerados (área sombreada) y los escenarios seleccionados (líneas) para el punto Maipo en el Manzano, el cual es relevante al ser un lugar de referencia para la distribución de las aguas de los principales usuarios de agua de la cuenca.

En ambos períodos se observan cambios en magnitud y temporalidad de los caudales. Todos los escenarios muestran que existe una mayor probabilidad que el caudal del Río Maipo permanezca debajo del promedio histórico durante el período comprendido entre abril a octubre (otoño e invierno) y de enero a marzo (verano). Primavera (octubre a diciembre) parece tener más caudales acumulados (en volumen), incrementando esta tendencia en el período lejano. La ocurrencia de los caudales máximos aparentemente cambia también, mientras en el período histórico las crecidas máximas ocurren entre finales de diciembre y principios de enero, en el futuro estos caudales máximos incrementan su magnitud en los mejores escenarios, pero también aparecen antes en todos los casos, en algún tiempo a mediados de diciembre. Las áreas sombreadas muestran que es más probable que los caudales de los escenarios futuros permanezcan debajo de los valores históricos, sólo 30% de todos los caudales en el período cercano y 25% en el período lejano sobrepasan los niveles históricos.



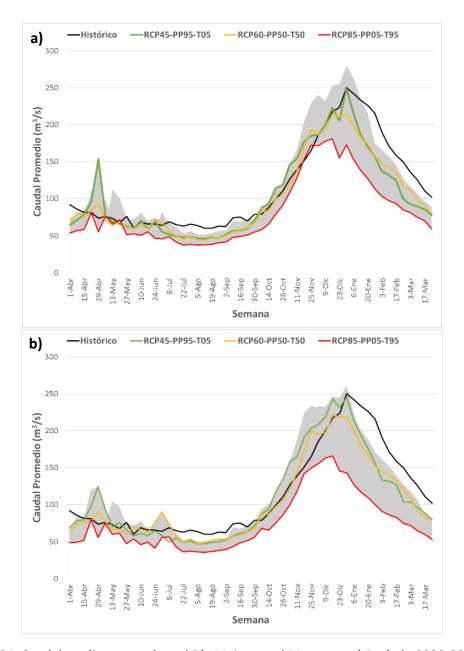


Figura 24. Caudal medio semanal en el Río Maipo en el Manzano: a) Período 2020-2040 y b) Período 2030-2050. Fuente: Elaboración propia.

3.2.1 Otros impactos

3.2.1.1 Olas de calor e inundaciones

La zona central de Chile ha presentado una tendencia al alza de las temperaturas máximas medias de verano (Dic-Ene-Feb) en las últimas décadas (Falvey & Garreaud 2009). A modo de ejemplo, los doce últimos años (2005 — 2016) muestran consistentemente anomalías en las temperaturas máximas anuales en promedio 0,8°C por sobre el periodo 1980-2010, tal como lo muestra la Figura 25.





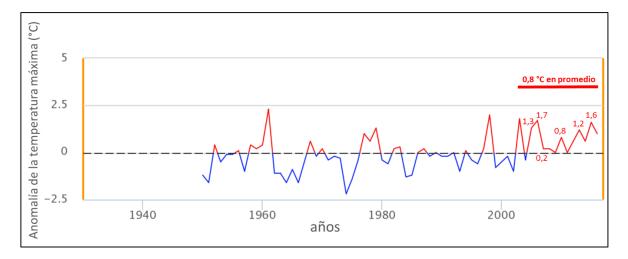


Figura 25. Anomalías de temperatura respecto al periodo 1980 – 2010, para las temperaturas máximas anuales en los meses de verano en la estación Quinta Normal. (Fuente: elaboración propia a partir de datos DGA procesados en el Explorador Climático del Centro de Clima y la Resiliencia CR2 de la Universidad de Chile).

Con estos antecedentes, sumados a los patrones de crecimiento y desarrollo urbano, el cambio de uso y cobertura de suelo, así como las proyecciones de cambio en el clima, plantean desafíos importantes en lo que respecta a los riesgos de inundación y olas de calor extremo al interior de la ciudad.

Las olas de calor extremo estarían asociadas a estratos socio-económicos bajos, lo cual se relaciona con la estructura de construcción, proporción de áreas verdes respecto a construcciones de cemento, entre otros. Por su parte las zonas de la ciudad asociadas a estratos socioeconómicos altos se encuentran más expuestos a inundaciones en la zona de precordillera y pié andino (Figura 26).



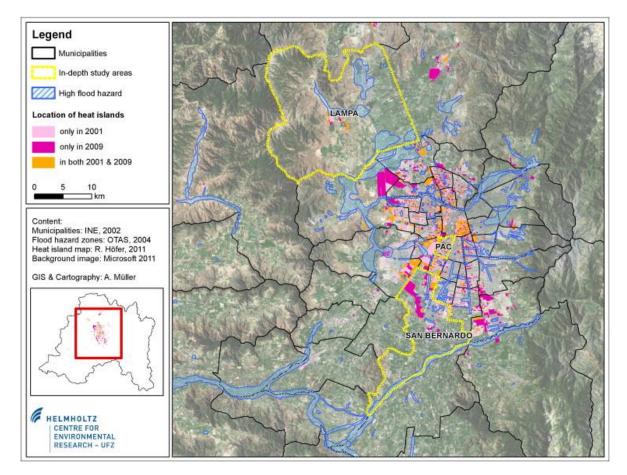


Figura 26. Áreas expuestas a inundaciones y olas de calor extremo en el área Metropolitana de Santiago. (Fuente: Krellenberg, Müller, Schwarz, Höfer, & Welz, 2013)

En un futuro cercano, se podrán ver aún más personas viviendo en zonas bajo amenaza, al proyectarse un aumento del área urbanizada, tanto al interior de la ciudad como en las áreas de transición con las zonas rurales, lo que disminuye de manera importante las zonas de enfriamiento, infiltración y retención de humedad de las cuales dispone la ciudad (Krellenberg et al. 2013).

3.2.1.2 Incendios Forestales

Todos los años, se registran en Chile Central un importante número de incendios forestales, con el consecuente impacto social, económico y ambiental, especialmente cuando ellos ocurren en las cercanías de centros poblados. Este tema ha cobrado especial relevancia y por tanto se hace necesario revisar los factores predisponentes y relación con variables climáticas futuras.

Si bien el 90% de los incendios que se producen en Chile afectan una superficie menor a las 5 hectáreas, es el 10% restante el que provoca cuantiosos daños a la propiedad pública y privada, destruyendo grandes extensiones de bosques, matorrales y praderas y afectando a la fauna y flora. De igual manera estos eventos causan daños a comunidades y cubren de material particulado centros poblados aledaños, con las respectivas consecuencias sobre la salud de las personas que los habitan.





Según una investigación reciente (Stephens et al. 2013), el alza sostenida de temperaturas asociada al fenómeno de Cambio Climático extendería la temporada de incendios, así como también generaría un aumento en la frecuencia y magnitud de éstos. Esta situación se ha constatado en las regiones del mar Mediterráneo, Canadá, Rusia y Estados Unidos. El efecto estaría asociado al aumento de las temperaturas máximas, así como también al adelantamiento y disminución en magnitud de los deshielos, generando estaciones más secas y calurosas, las cuales tienen mayor predisposición a la ocurrencia de incendios, factores también observados en la zona central de Chile.

La frecuencia y severidad de los incendios está determinada, en parte importante, por a) la disponibilidad de combustible y b) factores climáticos (Stephens et al. 2013). Entre estos últimos, la temperatura máxima juega un rol muy importante, lo que, sumado a la fuerte sequía experimentada en los últimos años, configuran un panorama favorable al desarrollo de estos eventos.

Si bien este fenómeno tiene actualmente un sitial en la preocupación en la sociedad, su relevancia aumenta si consideramos las proyecciones de cambio climático para la zona central de Chile. A partir de los escenarios futuros esperados para la cuenca, podemos anticipar que existe un importante riesgo de aumento en el desarrollo de estos eventos, dado que los sistemas estarían enfrentados a condiciones de aridez cada vez más severas.

4. Situación actual y proyectada de emisiones de gases de efecto invernadero en la RM

4.1 Inventario de emisiones actual para principales sectores de emisión

A modo general las emisiones son estimadas como la multiplicación entre un nivel de actividad (por ejemplo, litros consumidos de un combustible o las cabezas de ganado) y un factor de emisión que relaciona el nivel de actividad con las emisiones.

Emision = Factor de emision x Nivel de Actividad

Considerando como año base el año 2013, año más reciente que cuenta con información respecto al consumo de energía, fuentes agrícolas y residuos, el inventario de emisiones GEI distingue dos alcances según el origen geográfico de las emisiones; en el caso del alcance 1 corresponde a emisiones que son generadas dentro de la misma región de estudio, en este caso la RM. Mientras que en el alcance 2 corresponde a emisiones generadas fuera de la región de estudio, pero causadas por consumos energéticos realizados dentro de la región de estudio. Así, las emisiones de alcance 2 corresponden a las emisiones producto del consumo de electricidad dentro de la RM. Las emisiones de los distintos alcances no se deben sumar directamente, puesto que habría un doble conteo de las emisiones por la generación de las centrales ubicadas en la comuna de Renca. Estas afectan tanto las emisiones de alcance 1 de industria, así como las emisiones de alcance 2 por medio del factor de emisión (IPCC 2006; IPCC 2016; SNIChile 2014).

El inventario GEI por sector y alcance se presentan en la siguiente tabla:



Tabla 9. Inventario GEI en la región metropolitana, año 2013 [ton CO2e]. Fuente: Elaboración propia

Sector	Alcance 1	Alcance 2
Industrial	2,848,995	3,003,401
CPR-Estacionario	2,524,897	5,170,198
CPR-Transporte	7,176,487	
Residuos	1,689,093	
Agrícola	570,525	
Total	14,809,996	8,173,599

De la tabla anterior, se desprende que el sector energía (Industrial + CPR estacionario y transporte) representa el 84.7% de las emisiones de CO2e emitidas dentro de la región. Lo anterior es esperable por la alta concentración de habitantes que tiene la ciudad, lo cual también explica la relevancia del sector CPR dentro de las emisiones. El consumo extendido de gas natural en la industria, en desmedro de otros combustibles representa un beneficio desde el punto de vista del cambio climático dado que presenta factores de emisión menores para todos los GEI. Adicionalmente los combustibles gaseosos suelen tener eficiencias de conversión mayores, lo que implicaría una disminución del consumo total.

Alternativamente se pueden observar las emisiones GEI según tipo de contaminante donde se observa la preponderancia del CO2 que representa el 84.5% del total de emisiones en términos de CO2e, mientras que el metano alcanza sólo un 14.9% y el restante 0.6% corresponde al óxido nitroso. Lo anterior va en la línea de emisiones de la Región Metropolitana que responden de forma muy mayoritaria a procesos de combustión sobre otro tipo de procesos.

Tabla 10. Emisiones por contaminante y sector [ton/año] en la RM Alcance 1, año 2013. Fuente: Elaboración propia.

Sector	CO2	CH4	N2O
Industrial	2,842,922	83	14
CPR-Estacionario	2,522,278	46	5
CPR-Transporte	7,151,601	300	60
Agrícola	-	80,433	-
Residuos	1	23,909	221
Total Ton de gas	12,516,801	104,770	300
GWP	1	21	310
Total Ton CO2e	12,516,801	2,200,179	93,016

De acuerdo al segundo informe bienal de actualización de Chile sobre Cambio Climático (MMA 2016) si se consideran sólo las fuentes de emisión asociadas a las categorías revisadas en el presente





documento⁴ se alcanza un total cercano a los 100 millones de toneladas de CO2e, equivalentes a 100 mil Gg CO2e. De esta forma la región representaría el 15% de las emisiones nacionales, aunque se observan diferencias relevantes en el peso de la región sobre las emisiones nacionales al mirar el detalle por sector (ver Tabla 11).

Tanto la actividad industrial como las emisiones agrícolas tienen bajas emisiones en la RM en comparación con la realidad nacional. Es especialmente relevante las emisiones de la industria y de la generación, pues a nivel nacional representan un 52.1% de las emisiones, mientras que en la estimación propia corresponde a sólo un 19.3% de las emisiones, esta disminución implicará una reducción de indicadores como las emisiones per cápita o por punto de PIB. Las causas para esta diferencia se basan tanto en que la región metropolitana tiene una amplía industria de servicio, pero limitada industria intensiva en el consumo de combustibles, lo cual combinado con acceso a combustibles menos emisores como el gas natural se traducen en significativas menos emisiones. Por su parte, es destacable que, si bien sólo un 5% de las emisiones nacionales de la industria son emitidas en la región, el consumo eléctrico de la región implica un 16% adicional de emisiones de CO2e en otras regiones del país.

Por su parte, destaca el peso del sector residuos en la región, mientras a nivel país las emisiones del sector pesan en torno al 4.5% de las emisiones nacionales, en la región representan un 11.4% de las emisiones totales. Esto se explica por la relación directa que existe entre la población, la disposición de residuos orgánicos y las emisiones de metano. Lo anterior queda evidenciado por las proporciones similares que existe en el indicador RM/Chile entre las emisiones de residuos y la población. Lo mismo sucede con las otras emisiones por combustión que corresponderían a las emisiones por combustión en el sector CPR, y que nuevamente se relaciona directamente con la población.

⁴ Existen categorías adicionales en el inventario nacional no consideradas en el presente inventario de la RM, pues no aplican a la RM (como extracción y refinación de hidrocarburos), o por no contarse con información detallada para realizar la estimación regional (como procesos industriales y uso de productos). Cabe destacar que las categorías consideradas representan el 91% de las emisiones consignadas en el inventario nacional.





Tabla 11. Comparación de la RM con Chile [Gg CO2e]. Fuente: En base a (MMA 2016) y resultados propios⁵

Categoría	Chile	RM	RM/Chile
Emisiones industria y generación	52,128	2,849	5%
Emisiones Transporte	23,925	7,176	30% ⁶
Otras Emisiones por Combustión	5,769	2,525	44%
Emisiones agrícolas	13,735	571	4%
Emisiones Residuos	4,478	1,689	38%
Emisiones Totales	100,035	14,809	15%
Población [habs]	17,450,142	7,069,645	41%
PIB [MM CLP]	137,229,576	62,063,296	45%

Fuente: Elaboración propia

La comparación de las emisiones per cápita apuntan a un menor nivel de emisiones por habitantes en la RM (5.7 ton/hab a nivel nacional vs 2.1 ton/hab). Sin embargo, esta diferencia se explicaría en gran medida por la diferencia en el nivel de emisiones de la industria y generación, y del sector agropecuario.

_

⁵ Se incluyen las emisiones de Alcance 1 (emisiones que se generan en la RM) por lo que no se consideran las emisiones indirectas por generación eléctrica de fuentes fuera de la región. No es posible incluir las emisiones de Alcance 2 (emisiones indirectas) y compararlas con los resultados del inventario nacional ya que se caería en un doble conteo.

⁶ En la cuantificación de las emisiones por transporte de la RM, solo se incluyen el transporte terrestre, a diferencia del inventario nacional que incluye transporte ferroviario, marítimo y aéreo. Considerando solo el transporte terrestre del inventario nacional, las emisiones de la RM corresponden al 35% de las emisiones nacionales.





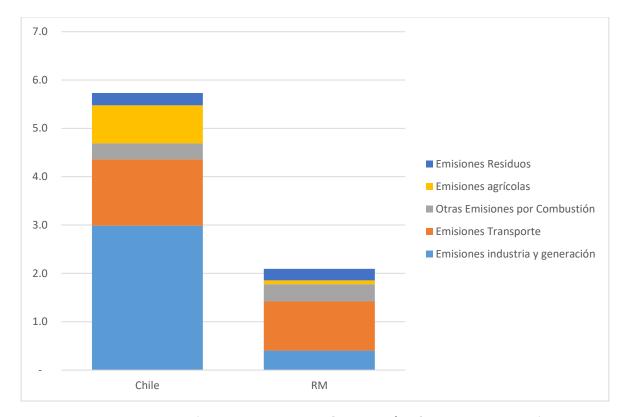


Figura 27. Emisiones per cápita de GEI, año 2013 [ton CO2e/hab]. Fuente: Elaboración propia

4.2 Proyección futura de emisiones

Para estimar la proyección del inventario GEI es necesario estimar una proyección de los distintos niveles de actividad. Para ello se considera la proyección regional, tanto de la población como del PIB como también diversos supuestos que involucran las proyecciones de población y PIB para la proyección de los niveles de actividad de consumo de combustible, consumo de electricidad, actividad agrícola y generación de residuos.

Como resultado de estas proyecciones de nivel de actividad, se cuenta con una proyección para las emisiones GEI de la Región Metropolitana. Las emisiones de alcance 1 pasarían desde los 14.8 millones de toneladas a 17.6 millones de toneladas en el año 2030. Siendo el sector CPR el principal emisor, donde el transporte represente el 46% de las emisiones regionales de GEI al año 2030, mientras las fuentes estacionarias representan el 15%. El sector industria alcanza un 21% y residuos un 13%. El restante 4% corresponde al sector agrícola.





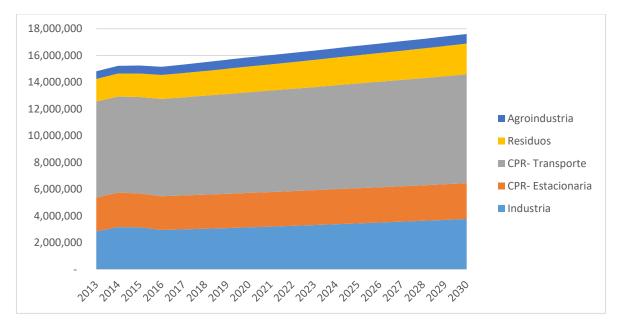


Figura 28. Proyección de emisiones por sector para el período 2013-2030 [ton CO2e]. Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, las emisiones de Alcance 2 se subdividen en un 60% sector CPR, y el restante 40% al sector industrial. Para la estimación de estas emisiones se utiliza un factor de emisión promedio del SIC de 376 ton/GWh de electricidad consumida. Los primeros años se observa una disminución que responde a una variación del factor de emisión del SIC, y no a una disminución del nivel de actividad.

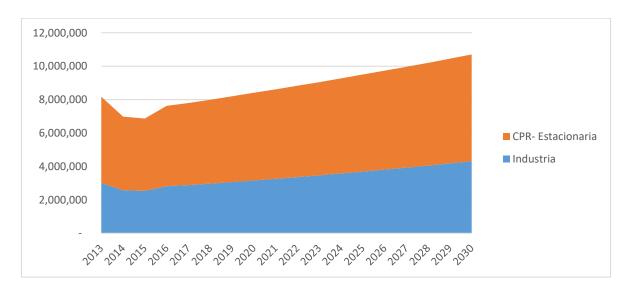


Figura 29. Proyección de emisiones por sector para el período 2013-2030 [ton CO2e]. Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, las emisiones per cápita de la Región Metropolitana estimadas muestran un aumento desde las 2.09 ton de CO2e/hab a 2.24 ton de CO2e/hab, significando un aumento de 7% de las



emisiones por habitante en el periodo analizado. Sin embargo, se debe destacar que adicionalmente a las emisiones directas, serían responsables por las emisiones indirectas asociadas al consumo de electricidad que implicaría un total adicional de 1.15 ton CO2e/hab para el año 2013 y de 1.36 ton CO2e/hab para el año 2030, representando un aumento del 18% de las emisiones per cápita indirectas

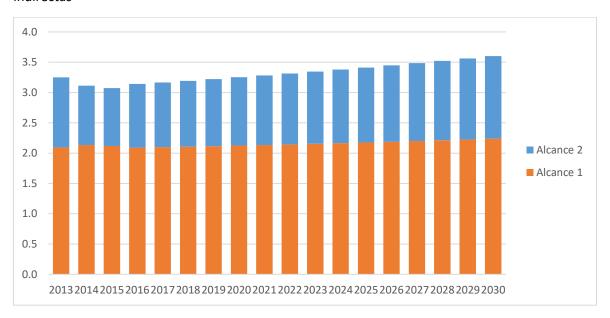


Figura 30. Proyección de emisiones per cápita en la RM [ton CO2e/hab]. Fuente: Elaboración propia.

5. Estrategia y plan de acción para responder a los desafíos del Cambio Climático en la RM

5.1 Marco conceptual y lineamientos generales para el desarrollo de la estrategia

Se plantea en esta sección del documento una estrategia integral para responder a los desafíos del cambio climático en la Región Metropolitana. Se plantean primero los desafíos transversales tanto a temas de mitigación como de adaptación para después pasar a plantear los temas específicos asociados ambos temas. Se definen también a lo largo de la sección distintas medidas que componen el plan de acción para responder a este desafío.

Una primera medida tiene se plantea frente a la necesidad de coordinar acciones y planes desarrollados por distintos actores públicos y privados relacionados tanto con medidas de adaptación, así como acciones de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. Se propone en este sentido que se instale en la Región Metropolitana una nueva institucionalidad que sirva para coordinar estas acciones. Dado el carácter transversal de temas que deben ser considerados se sugiere que esta institución este alojada en el Gobierno Regional en un formato de





Mesa Regional del Cambio Climático y de la cual participen las SEREMIS de todos los Ministerios sectoriales relevantes: Medio Ambiente, Obras Públicas (incluida en particular la Dirección Regional de Aguas y Dirección Regional de Obras Hidráulicas), Agricultura, Energía, Minería, Vivienda y Urbanismo, Transporte y Telecomunicaciones, Economía y Salud. Esta Mesa Regional de Cambio Climático debe descansar en las capacidades técnicas de cada uno de los Ministerios sectoriales velando por la coordinación de acciones, evitando acciones que lleven a la maladaptación y aprovechando de encontrar oportunidades para reducir emisión de GEI y mejorar la resiliencia de las distintas actividades, comunidades y sistemas naturales de la Región Metropolitana. Esta Mesa Regional debe estar coordinada también con instancias similares que existan en regiones vecinas pero relacionadas (por ejemplo, la Región de Valparaíso, región con la que se comparte la cuenca del río Maipo). Esta Mesa Regional debe estar también coordinada con instancias a nivel nacional que son responsabilidad del Ministerio de Medio Ambiente (Tabla 12).

Algunas responsabilidades adicionales que podría tener esta Mesa Regional son:

- Actualización periódica del inventario de GEI
- Apoyo a la estimación de la huella de carbono en las municipalidades
- Consolidación de iniciativas de monitoreo ambiental a nivel público y privado existentes en la región, lo cual permita, entre otras acciones, desarrollar un sistema de alerta temprana frente de cambios en el clima y otras variables críticas.
- Avanzar en sistematizar la información mediante la creación de una plataforma integrada de información.
- Coordinación de campañas de sensibilización de la población en materia de movilidad (crear la demanda por parte de la ciudadanía de alternativas de transporte sostenible, y ofrecer en paralelo dichas alternativas), de gestión de residuos y cambio climático, de manejo de eventos extremos y uso de recursos hídricos de manera sustentable, entre otros

Muchas de estas acciones y medidas que se proponen a continuación específicas para los ejes de adaptación y mitigación tienen relación con otros temas emergentes en la Región. Son evidentes las relaciones que existen en este sentido con Desarrollo y Competitividad, Medio Ambiente, Movilidad y Gestión del Riesgo. En las siguientes secciones se presentan estas medidas en detalle definiéndose una priorización de las medidas más relevantes en función de impacto esperado tras su implementación y el grado de avance existente a la fecha que facilita su implementabilidad. Es importante destacar que la presentación de cada medida específica no considera un análisis de impacto cuantitativo profundo. Es necesario, para el éxito de esta estrategia, en muchos casos llevar a cabo esos análisis para dar cuenta de los impactos esperados y los costos y beneficios.





Tabla 12. Medidas transversales para enfrentar los desafíos del cambio climático en la RM

Acción	Tipo de Acción	Prioridad	Plazo	Relación con otros TEs	Comentarios
Coordinación Institucional de acciones en la Región mediante una mesa permanente intersectorial	Gap	Alta	Corto	5. Desarrollo y Competitividad	Se plantea la necesidad de coordinar acciones y planes desarrollados por distintos actores y tomadores de decisión relacionados con medidas de adaptación a la variabilidad y cambio climático, así como acciones de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. Aplicación de varias medidas complementarias que producen mitigaciones indirectas: - Actualización periódica del inventario de GEI - Estimación de la huella de carbono en las municipalidades - Ordenanza municipal para obligatoriedad de reportes anuales de consumos de combustibles - Instalación de papeleras de reciclaje en edificios públicos - Sensibilización de la población en materia de movilidad (crear la demanda por parte de la ciudadanía de alternativas de transporte sostenible, y ofrecer en paralelo dichas alternativas) - Campaña de sensibilización de la población en materia de gestión de residuos y cambio climático, entre otros
Estructuración de un plan de monitoreo ambiental de la cuenca	Gap	Alta	Corto	4. Gestión de Riesgo	Consolidar iniciativas de monitoreo ambiental públicas y privadas existentes en la cuenca, la cual permita, entre otras acciones, desarrollar un sistema de alerta temprana. Avanzar en sistematizar la información mediante la creación de una plataforma integrada de información. Visualización y socialización se situaciones de riesgo, tales como inundaciones, turbiedad, incendios forestales, olas de calor, etc.





5.2 Medidas y plan de acción para la adaptación en la RM

La propuesta de plan de acción para la adaptación para la Región Metropolitana nace del proyecto MAPA, proyecto coordinado por el Centro de Cambio Global de la Pontificia Universidad Católica de Chile, financiado por el International Development Research Center⁷. El objetivo del proyecto MAPA es el de disminuir la vulnerabilidad de la cuenca y sus usuarios a los impactos de la variabilidad y el cambio climático. El marco de acción para llevar a cabo este objetivo tiene varios alcances. Por una parte, está la metodología de trabajo que se desarrolló con múltiples actores durante el proyecto y que sirvió para definir un conjunto de medidas de adaptación plausibles. Por otra parte, está la metodología que se propone para lograr la implementación de estas medidas.

La articulación del plan de adaptación de la cuenca del río Maipo se concibe en este marco como el resultado de la conversación y reflexión abierta entre las principales organizaciones interesadas o usuarias de recursos hídricos y el equipo de investigación, a lo largo de diferentes instancias colaboración y guiadas por una estructura formal de trabajo.

Las organizaciones que participaron del proceso fueron seleccionadas en base a su importancia y nivel de decisión en la cuenca. Representantes clave de estas organizaciones, junto con el equipo de investigadores del proyecto conformaron lo que se denominó como Grupo de Construcción de Escenarios (GCE). Este GCE tuvo la misión de generar información, así como el de evaluar y validar los productos que se fueran generando durante las diferentes instancias de trabajo e interacción. Los representantes de organizaciones civiles y los investigadores fueron iguales participantes en cada una de estas intervenciones y reuniones. A este proceso de trabajo se incluyeron instancias de difusión de información (talleres de capacitación, página web y boletín de información bi-anual) y acercamiento de actores a las diferentes problemáticas de la cuenca (visitas a terreno y reuniones bi-anuales organizadas por distintos miembros del GCE). De esta manera se logró construir confianza entre organizaciones participantes, ambiente no confrontacional centrado en lo técnico y no en las diferencias y preocupación por el futuro de la cuenca del río Maipo.

Para darle contenido y orden a la relación con los actores se propuso desde una primera instancia de trabajo una serie de "reglas del juego". Una de estas reglas del juego consistió en estructurar los avances del trabajo a lo largo de cuatro elementos inspirados de las metodologías de Toma de Decisiones Robustas (Lempert 2003) y ajustadas para esta aplicación particular en el caso del río Maipo:

- Factores de Incertidumbre y Escenarios (I)
- Medidas de Desempeño (D)
- Estrategias de Adaptación (A)
- Modelos (M)

⁷ Como se mencionase anteriormente, la Región Metropolitana y la Cuenca del río Maipo tienen un calce geográfico casi perfecto salvo porque la desembocadura de la cuenca se encuentra en la Región de Valparaíso y partes aportantes de la cuenca se encuentran en la Región del Libertador Bernardo O´Higgins.





El marco IDAM no busca la selección de estrategias que se adecúen a los escenarios más probables, sino la consideración de estrategias que logren adaptarse de mejor manera a un grupo de escenarios definidos. De este modo, se posiciona como una alternativa sumamente interesante que entrega un sólido apoyo a la toma de decisiones en condiciones de alta incertidumbre, tales como escenarios de cambio climático. Para ello, basa su trabajo en la utilización de, entre otros aspectos, escenarios futuros como elementos de apoyo, centrando su trabajo en tres nociones claves: la noción de robustez, una mirada múltiple del futuro, y un marco iterativo de análisis (Lempert & Groves 2010). La mirada iterativa de análisis se centró en la combinación de insumos computacionales y capacidades humanas de forma interactiva. Mientras que las aproximaciones más tradicionales consideran el apoyo computacional simplemente para la generación de un ranking de estrategias alternativas, en donde se identifica la opción "óptima", la propuesta de la RDM y el marco IDAM considera las competencias computacionales para el apoyo en el manejo, despliegue y resumen de vastas cantidades de información. En este sentido, el apoyo computacional es visto como un insumo más, y no como un elemento central, que permite, a través del apoyo de actores expertos, formar y testear hipótesis respecto a las acciones de mediano plazo más robustas a tomar frente a escenarios futuros (Lempert et al. 2004; Lempert 2003).

La Figura 31 resume la interpretación que se le dio al marco IDAM al interior del proyecto MAPA y que sirvió de guía en el trabajo con los actores. El punto de partida lógico de esta estructura es la interpretación que se le da a las medidas de desempeño (D). Estas medidas de desempeño reflejan métricas cuantificables de la vulnerabilidad actual o futura de los distintos sectores o sistemas sensibles al clima al interior de la cuenca del río Maipo. Los factores de incertidumbre (I)/escenarios son amenazas que pueden generar impactos sobre estos indicadores. Para poder evaluar estos impactos se necesitan modelos (M) o herramientas que permitan relacionar el clima y otros factores de cambio con los indicadores de desempeño. Finalmente, las estrategias de adaptación (A) se entienden como una serie de instrumentos, políticas, inversiones o cambios en patrones de consumo que puedan reducir este impacto negativo o aprovechar oportunidades si fuese el caso.

La construcción de cada uno de estos componentes fue realizada de la mano con los miembros del GCE como se explica con mayor detalle en cada caso específico. Las razones para realizar estos trabajos en conjunto con los actores obedecen a varias razones:

- Respecto de los indicadores de desempeño/vulnerabilidad son los actores quienes mejor entienden cuáles son sus intereses y objetivos y por lo tanto son quienes mejor pueden definir los niveles frente a los cuales se producen impactos cuando estos objetivos no son satisfechos.
- Respecto de los escenarios futuros son también los actores quienes pueden discernir cuales son los factores o forzantes relevantes que ayuden a explicar el cómo se puede desarrollar la cuenca hacia el futuro.
- Respecto de los modelos o relaciones, claramente los actores son quienes mejor entienden cómo funcionan gran parte de los sistemas que se están simulando, como por ejemplo el sistema de provisión de agua potable para la ciudad de Santiago.



Finalmente, los actores de manera directa o indirecta van a estar involucrados en la implementación de las distintas medidas de adaptación que se propongan en el proyecto. Por lo tanto, conocer su opinión respecto a estas es clave para asegurar su éxito.

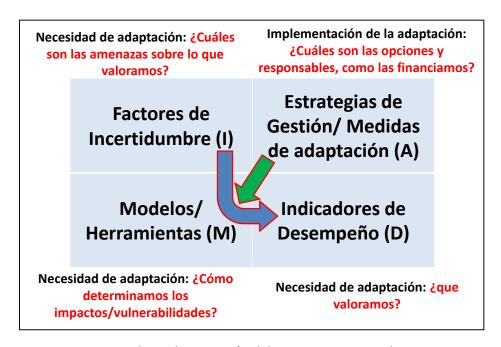


Figura 31. Esquema de implementación del marco IDAM para el proyecto MAPA

Aparte del método de trabajo en relación con los actores cada uno de los componentes del IDAM tuvo un desarrollo metodológico especial cuyo resumen se presenta en la Tabla 13.

Tabla 13. Metodologías usadas en el proyecto MAPA para desarrollar los distintos componentes del marco IDAM

Componente del marco IDAM	Metodologías utilizadas
Factores de Incertidumbre y	Downscalling climático
Escenarios (I)	Modelación espacialmente explicita de uso de suelo
	Análisis con actores de factores condicionantes
Medidas de Desempeño (D)	Taller Open Space
	Trabajo de marco conceptual con actores
	Herramientas de modelación de consumo de agua
	Modelos econométricos de consumo de agua
	Encuestas a hogares y predios
Estrategias de Adaptación (A)	Análisis económico
	Trabajo de marco conceptual con actores
Modelos (M)	Herramientas de modelación computacional:
	- WEAP
	- Qual2K
	- GeoPUMMA



El trabajo con los actores siguiendo el marco IDAM asegura que se vayan generando los inputs necesarios para la justificación y diseño de medidas de adaptación. Sin embargo, la implementación de estas medidas no queda asegurada con estos logros. Para analizar al nivel de implementación de medidas de adaptación se ha concebido un marco conceptual que reconoce una conjugación de factores que dependiendo de su posición relativa en un caso particular se pueden transformar en forzantes (positivo) o barreras (negativo) para la implementación de la adaptación. La Figura 32 basada en un trabajo en desarrollo por Scott et al. (en construcción) presenta los factores relevantes bajo este marco conceptual.

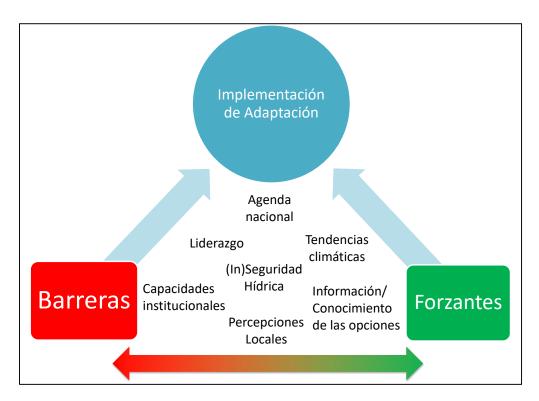


Figura 32. Factores relevantes para lograr la implementación de adaptación

Basándose en los resultados de encuesta a las instituciones que forman parte del CGE y los análisis que se desprenden de otras líneas de trabajo del CCG se concluye que existen una serie de factores que hoy pueden ser considerados como forzantes, es decir, justificaría la adaptación para el caso de la cuenca del río Maipo. Dentro de este grupo se puede considerar la situación climática reciente (mega-sequia), la percepción de actores locales y los lineamientos que se entregan a nivel nacional respecto de una política de adaptación al cambio climático. También se recoge dentro de este grupo el aporte que entrega MAPA y que se describiera anteriormente, respecto a información y marcos de trabajo relevantes que permiten que se lleve a cabo la adaptación. Sin embargo, se puede reconocer también otros factores relevantes que corresponden más bien a barreras (limitan la implementación de la adaptación) como por ejemplo la falta de liderazgo claro en el tema y





limitaciones institucionales respecto de por ejemplo la gestión de los recursos hídricos o del uso del suelo a escala de cuenca (Figura 33).

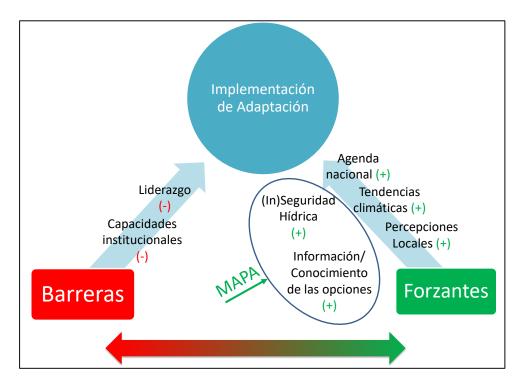


Figura 33. Factores relevantes para lograr la implementación de adaptación en el caso de la cuenca del Maipo.

Finalmente se reconoce como aspecto metodológico que la implementación de medidas de adaptación es un proceso iterativo que se produce en la secuencia de ciclos de decisión. De esta manera el proyecto MAPA incorpora el marco de trabajo de los *adaptation pathways* (Wise et al. 2014) (Figura 34). En cada uno de los ciclos de este camino de adaptación y siguiendo el marco IDAM propuesto con anterioridad se deben evaluar las condiciones actuales y proyectadas de desempeño de distintos componentes de la seguridad hídrica y bienestar humano y servicios ecosistémicos. A partir de este análisis se puede evaluar la implementación de medidas de adaptación.



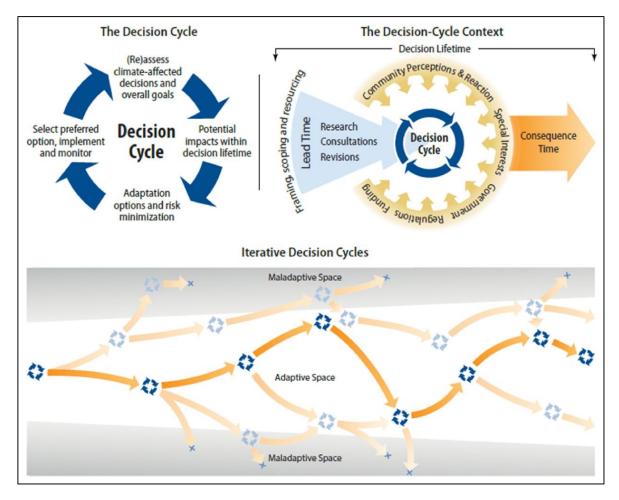


Figura 34. Caminos de adaptación (adaptation pathways), tomado de Wise et al. (2014).

Adicionalmente, y como parte del trabajo en el marco del proyecto "Clima Adaptación Santiago" (CAS), desarrollado por UFZ (Alemania), el Gobierno Regional Metropolitano de Santiago, el Ministerio del Medio Ambiente y la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente, el año 2012 se elaboró el "Plan de Adaptación al Cambio Climático para la Región Metropolitana de Santiago" (GORE RM & Ministerio de Medio Ambiente 2012). Este plan considera, además de una revisión de los impactos esperados por el fenómeno del cambio climático en la RM, el levantamiento de una serie de medidas existentes en la región, así como la selección de catorce medidas propuestas para la adaptación en la región.

Las medidas consideradas en el proyecto CAS abordan aspectos tales como uso de suelo hacia la reducción de amenazas de calor extremo e inundaciones, disminución en la exposición a amenazas a nivel domiciliario, medidas vinculadas al aumento en la eficiencia y mejor gestión del agua y otras asociadas con el sector energía.

Parte importante de las medidas temas abordados en el plan propuesto por el proyecto CAS están parcial o completamente considerados en las medidas más abajo propuestas. En el caso de medidas





no abordadas por el proyecto MAPA y si propuestas por el proyecto CAS, éstas se incluirán en el listado priorizado a continuación, indicando su vinculación correspondiente.

5.2.1 Selección y Priorización de Medidas de Adaptación a ser desarrolladas dentro de un Plan de Acción

Según los criterios descritos en la sección anterior se seleccionaron un conjunto de medidas que deben ser implementadas dentro de un marco de Plan de Acción para la Adaptación al Cambio Climático dentro de la Región Metropolitana.





Tabla 14. Acciones de Adaptación según Tipo de Acción, Prioridad y Plazo de Ejecución

Acción	Tipo de Acción	Prioridad	Plazo	Acción
Protección de Taludes	Gap	Alta	Mediano	Programas de reforestación y protección de taludes, de manera de favorecer la infiltración y disminuir el arrastre directo de sedimentos a cursos de agua superficial
Fondos de Agua	Plan	Alta	Largo	Favorecer mecanismos de colaboración y financiamiento público- privada que desarrollen acciones de conservación de servicios ecosistémicos existentes en la cuenca (ej. Protección de humedales alto andinos)
Transferencia, venta o arriendo de derechos de agua	Plan	Alta	Corto	Favorecer mecanismos de transferencia (temporal y/o permanente) de derechos de agua entre usuarios de manera de flexibilizar la gestión del recurso. Actualmente existen ciertos avances entre Aguas Andinas y Asociaciones de Canalistas en la cuenca.
Mejoras en prácticas de riego. Aumento de eficiencia	Proyecto	Alta	Mediano	Ampliar los alcances de la ley 18.450 de inversión en infraestructura en riego y drenaje, con tal de aumentar la eficiencia de riego de áreas con riego tradicional, no tecnificado.
Planificación territorial en base a escenarios futuros	Plan	Alta	Mediano	Reconocer en los instrumentos de planificación territorial a nivel regional los posibles escenarios de desarrollo y de clima futuro, considerando disponibilidad de agua, fuentes de abastecimiento, etc.
Mejor distribución, mantención y gestión del riego de áreas verdes urbanas	Plan	Alta	Mediano	Fortalecer y mejorar la gestión municipal en la planificación, ejecución y mantención de parques y jardines urbanos. Estudio y estandarización de metodologías de riego y mantención con tal de disminuir uso excesivo de agua.
Reducción del consumo residencial de agua / Aumento en la eficiencia	Proyecto	Alta	Mediano	Generación de campañas de concientización respecto al uso de agua residencial, así como programas de recambio tecnológico de artefactos que consuman agua al interior de los hogares.
Reutilización de aguas grises/tratadas	Gap	Alta	Largo	Favorecer modificaciones normativas que permitan la reutilización de aguas grises (no negras - alcantarillado) en usos alternativos, tales como riego de parques y jardines, u otros.







Acción	Tipo de Acción	Prioridad	Plazo	Acción
Seguros Agrícolas	Plan	Alta	Corto	Mejorar mecanismos de seguros que permitan a los agricultores proteger su inversión frente a riesgos climáticos futuros.
Enfriamiento pasivo para hogares de pocos recursos (CAS – M6)	Gap	Alta	Mediano	Creación de un programa dirigido a hogares de escasos recursos para mejorar el confort térmico de la vivienda mediante el cubrimiento de techos planos con materiales de alta reflexión (techos frescos), específicamente con materiales acrílicos elastoméricos de color blanco.
Protección de Glaciares	Gap	Media	Corto	Avanzar reconocer el valor ambiental y estratégico de los glaciares, mediante la restricción de actividades que afecten de manera directa e indirecta a estos cuerpos de agua
Captación e infiltración/conducción de aguas lluvias	Proyecto	Media	Largo	Diseño e implementación de infraestructura urbana que disminuya el escurrimiento directo y aumente la infiltración de aguas lluvia en la ciudad. Parques inundables, cobertura porosa, etc.
Mejoras en sistema de captación y conducción de agua potable y agrícola y mejor uso para disminución de inundaciones	Proyecto	Media	Mediano	Disminución de pérdidas y aumento en la eficiencia en el transporte y distribución de agua entre los usuarios. Uso de infraestructura existente para la evacuación de excedentes de aguas lluvias
Levantamiento de información, planificación y mejora en la eficiencia de riego de plazas y parques urbanos	Gap	Media	Mediano	Actualmente no existe información acabada sobre prácticas de riego ni volúmenes de agua aplicada en el riego de parques y plazas en la región, más aún cuando muchas de ellas son regadas con agua potable.
Factor verde en nuevos desarrollos públicos y comerciales (CAS – M2)	Gap	Media	Mediano	Zonificación a nivel regional o local, que establece una cantidad mínima de cobertura vegetal para nuevas edificaciones públicas, comerciales o de otro tipo. Elaboración de una guía de diseño para apoyo del desarrollador.
Promoción y fomento a la implementación de Techos Ecológicos (o "Verdes") (CAS – M4)	Gap	Media	Mediano	Generación de directrices ecológicas en el diseño arquitectónico de la ciudad, mediante la incorporación de cubiertas verdes o usando materiales ambientalmente eficientes.







Acción	Tipo de Acción	Prioridad	Plazo	Acción
Recarga de Acuíferos	Gap	Ваја	Mediano	Desarrollo / fortalecimiento / estudios que apoyen el desarrollo de infraestructura de infiltración de aguas lluvias y/o aguas superficiales para recarga de acuíferos.
Nuevas áreas de conservación	Gap	Baja	Largo	Avanzar en aumentar las áreas de conservación, en especial aquellas que generen servicios ecosistémicos para la cuenca, tales como provisión de agua en calidad y cantidad, disminución del riesgo de aluviones, etc.





5.3 Medidas y plan de acción para la mitigación en la RM

Con el objetivo de desarrollar un plan de accion para la mitigacion de emisiones de gases efecto invernadero asociadas a las actividades emisoras de la Region Metropolitana se toman en consideracion el analisis de los principales sectores emisores, los compromisos internacionales a los cuales se ha comprometido Chile en términos de reducción de GEI, las iniciativas nacionales que se han desarrollado relacionadas a la mitigacion de GEI, como también al análisis de las medidas y plan de acción que se han levantado en diferentes ciudades, nacionales e internacionales, considerando entre ellas, la Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles Ilevada a cabo por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID 2015).

Tambien son tomadas en consideracion las iniciativas regionales y comunales dentro de la Region Metropolitana que ya se encuentran en desarrollo y que tienen alguna relacion con la mitigacion de emisiones GEI. Entre ellas se destaca el Plan de Prevencion y Descontaminacion de la Region Metropolitana (Ministerio del Medio Ambiente Chile 2016) el cual ademas de reducir contaminantes locales genera importantes cobeneficios al reducir tambien las emisiones GEI de la Region Metropolitana (Comision Nacional de Medio Ambiente 2011; Bell et al. 2008; Cifuentes et al. 2001), las iniciativas comunales de La Pintana (i.e. Plan Local de Cambio Climático comuna de La Pintana (Municipalidad de La Pintana 2016)), Providencia (i.e. "Sostenibilidad energética comuna de Providencia"/9 (Municipalidad de Providencia 2016)) y Santiago (i.e. "Plan integral de movilidad comuna de Santiago"/10 (Municipalidad de Santiago 2016), como tambien la iniciativa regional "Santiago Zona Verde"/11 (Ministerio de Medio Ambiente 2016).

El Plan de Acción para la mitigación de las emisiones de GEI de la Región Metropolitana y las medidas y/o programas que lo componen fue elaborado siguiendo tres grandes etapas: 1) identificación de posibles medidas a implementar, 2) análisis de los sectores emisores e impacto (cualitativo) que las medidas podrían tener y finalmente, 3) priorización de las medidas.

5.3.1 Identificacion de potenciales medidas de mitigacion GEI

Esta primera etapa tuvo por objetivo identificar opciones de mitigación adecuadas a la realidad local de la Región Metropolitana. Para esto lo primero que se realizó fue la revisión y sistematización de

⁸ Contiene medidas varias enfocadas en la mitigación y educación ambiental

⁹ Proyectos de autogeneración de energía: El 2015 año se licitaron tres proyectos de autogeneración. Un proyecto fotovoltaico para producir energía eléctrica, y dos proyectos de colectores solares para calentar agua sanitaria

¹⁰Ejes Fundamentales: - Fomentar el transporte sustentable (caminata y bicicletas). - Desincentivar el uso del vehículo particular motorizado, disminuyendo congestiones y priorizando el transporte público. - Mejorar el entorno, desarrollo urbano y la seguridad vial en barrios y zonas específicas de Santiago (comercio, escuelas, hospitales, etc.). - Disminuir la contaminación ambiental. - Brindar las herramientas y la información necesaria para empoderar a los ciudadanos sobre el futuro de la comuna.

¹¹ Esta es una de las medidas que contempla la NAMA (Acción de Mitigación Nacionalmente Apropiada), "Santiago Zona Verde", una zona de transporte "verde" que abarcará 2 kilómetros de extensión y que tiene por objetivo reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el sector transporte, promoviendo el transporte sustentable.





las opciones de mitigación propuestas en distintas iniciativas de reducción de emisiones de GEI desarrolladas en Chile.

Las iniciativas revisadas fueron las siguientes:

- Iniciativa MAPS-CHILE Fase II (Centro UC Cambio Global 2014; Fundación Chile 2014; GreenLabUC 2014; INFOR-INIA 2014; Sistemas Sustentables 2014; UNTEC Fundación para la Transferencia Tecnológica 2014). Se incorpora esta iniciativa por ser el estudio con más validación producto de la forma en que se estructuró, con revisiones continuas por parte de la academia, representantes sociales, ONG, privados y gobierno. Las medidas son de carácter nacional, pero algunas podrían ser escaladas para su aplicación a nivel local.
- Inventario y Hoja de Ruta de Mitigación del Área Metropolitana de Asunción (IDOM, 2014b). Las medidas fueron revisadas con la intención de reconocer las mejores medidas, pero manteniendo en consideración las diferencias no sólo geográficas, sino que políticas entre Asunción y la Región Metropolitana.
- Inventario y Hoja de Ruta de Mitigación de Valdivia (IDOM, 2014a) y La Serena-Coquimbo (DESE UC & GreenlabUC 2016). Al ser las únicas iniciativas de este tipo en Chile, se observó con especial detalle el proceso y las medidas propuestas, buscando aquellas que aplican al contexto local de la zona de estudio y formas de mejorar.
- Estrategias de mitigación y métodos para la estimación de emisiones de GEI en el sector transporte (BID 2013). Dado que el sector transporte concentra la mayor proporción de emisiones de la Región, se buscó dar énfasis a las medidas de este tipo.

A partir de las iniciativas revisadas se obtiene un listado de medidas potenciales a ser aplicadas en la Región Metropolitana las cuales son detalladas en la Tabla 15.





Tabla 15. Potenciales Medidas a ser desarrolladas en la Región Metropolitana en base a revisión de iniciativas existentes a nivel nacional e internacional

Sector	Subsector	Medida
	Buses	Carriles especiales para vehículos de alta ocupación
		Implementación de Infraestructura en el Transporte Público
		Asistencia Técnica
		Cambio modal en transporte de carga camión-tren
	Camiones	Cambio Modal en Transporte de Carga, Camión-Cabotaje
		Mejoras aerodinámicas en camiones
		Renovación parque de camiones de carga y chatarrización
	Farmaniania	Extensión Trenes Urbanos de Pasajeros
	Ferroviario	Renovación de Parque Ferroviario-Carga
	Publico	Compra de vehículos con criterios verdes
	Taxis	Plan de preparación para la electromovilidad de taxis
		Aplicar criterios verdes en la adjudicación de rutas de autobuses - Buses de transporte publico de
		bajas emisiones
Transporte		Conducción Eficiente
Transporte	Todos	Sensibilización de la población en materia de
		movilidad
		Transporte fluvial
		Zona Verde para el Transporte
	Trasporte aéreo	Mejoras tecnológicas en modo aéreo
		Chatarrización para vehículos livianos
		Etiquetado de neumáticos eficientes para vehículos livianos
		Infraestructura modo bicicleta
	Vehículos	Metas de consumo energético y de emisiones de CO 2
	particulares	para el parque de vehículos nuevos
		Peatonalización de calles
		Programa de bicicleta pública
		Programa de subvención a bicicletas eléctricas
		Tarificación vial y encarecimiento de estacionamientos







Sector	Subsector	Medida		
		Vehículos de Cero y Baja Emisión		
		Combinaciones e incentivos de viaje compartido		
		Planificación de residuos a nivel municipal y reglamentación de la Ley de Residuos		
		Creación de programa de recolección selectiva y corrientes de tratamiento diferenciadas		
		Campaña de sensibilización de la población en materia de gestión de residuos		
		Extender la cobertura de saneamiento para la recogida de todos los residuos generados		
		Mejorar las infraestructuras de gestión de residuos y aguas residuales de acuerdo al Plan de Gestión de Residuos		
		Sistema de captación de biogás en los rellenos sanitarios para quema o venta energética o térmica		
		Pelletización de RSM		
	Residuos sólidos	Sustitución del vertedero actual		
Residuos		Compostaje en Planta		
Residuos		Compostaje domiciliario		
		Aumento del reciclaje		
		Compostaje de RSM provenientes de ferias libres		
		Planta de digestión anaerobia en base a RSM		
		Incineración de RSM		
		Tratamiento Mecánico Biológico		
		Campaña de reciclaje de papel		
		Compostaje de lodos domiciliarios		
	Aguas residuales	Digestión de lodos domiciliarios		
		Instalación de planta de tratamiento de aguas servidas		
		Mejoramiento de la dieta de alimentación en bovinos		
	Agropecuario	Uso de fertilizantes con inhibidores del ciclo del nitrógeno		
AFOLU	Agropecuario	Uso de ERNC en riego		
AI OLO		Secuestro de carbono en suelos agrícolas por aplicación de materia orgánica		
	AFOLU	Establecer la obligación de elaborar evaluaciones estratégicas de impacto ambiental		
	AIU	Incorporación de criterios ambientales a la planificación urbana: barrios compactos y diversos		
Energía	Publico	Reducir el consumo energético del alumbrado público		
Estacionaria	1 dolled	Calculo de la huella de carbono en la municipalidad		







Sector	Subsector	Medida
		Autoabastecimiento (net-billing) en edificios públicos
		Promoción de la energía solar térmica en edificios públicos
		Rehabilitación energética de edificios de la municipalidad
		Auditorias y ISO50001
		Fomentar el cálculo de la huella de carbono de organizaciones a través de un registro voluntario de
		huella de carbono y del desarrollo de herramientas de cálculo
		Medida de eficiencia energética para el transporte en la minería
		Proyectos de autogeneración de energía eléctrica con ERNC en plantas industriales y mineras
		Uso de combustibles convencionales de bajas emisiones
	Industria &	Uso eficiente de la energía en la industria impulsada por auditorías energéticas y aplicación de
	Mineria	medidas detectadas
		Energías renovables para usos térmicos en instalaciones nuevas y existentes
		Recambio de motores eléctricos
		MEPS en motores eléctricos
		Uso de combustibles no convencionales de bajas emisiones de GEI
		Incorporar los GEI a la evaluación de impacto ambiental a través de normativa
		Programa de adopción de sistemas solares térmicos y agua caliente sanitaria
		Autoabastecimiento (net-billing) en viviendas
	Residencial	Programa de recambio de aireadores
		Subvenciones para rehabilitaciones con criterios energéticos de edificios
		Mejorar la inspección de edificios de autoconstrucción
		Calificación energética de viviendas nuevas
		Estándares mínimos para refrigeradores del subsector residencial
		Etiquetado de lavadoras
		Estándares mínimos para Aire acondicionado
	CPR	Etiquetado para Aire acondicionado
		Etiquetado y MEPS de tubos fluorescentes y balastos
		MEPS iluminación
		MEPS lavadoras
		Calificación energética de viviendas existentes







Sector	Subsector	Medida
		MEPS refrigeradores comerciales
		Aumento en las exigencias de la reglamentación térmica
	Industria	Promocionar acuerdos voluntarios sectoriales de reducción de emisiones por unidad productiva
	Γμομαίο	Incentivo específico a FV solar
	Energía	Incentivo específico a energía eólica
		Creación de una mesa permanente de cambio climático interdepartemantal en la municipalidad:
	Transversal	Realización de un inventario de GEI periódico para monitorizar el proceso
Transversal		Ordenanza municipal para obligatoriedad de reportes anuales de emisiones y consumos de
		combustibles
		Instalación de papeleras de reciclaje en edificios públicos

Fuente: Elaboración propia





5.3.2 Análisis Sectores Emisores e Impacto (cualitativo) de mitigación

Las medidas identificadas en la sección anterior fueron analizadas y discutidas por el equipo consultor, con el fin de convenir cuales son aquellas que mejor se adaptan tanto al contexto local.

Un criterio clave en la elección de un número de opciones de mitigación tiene que ver con la relevancia del sector / subsector en las emisiones totales de GEI en la zona, de esta manera, en base al inventario levantado se puede observar la distribución de las emisiones por sector de forma de identificar aquellos sectores claves y las actividades con mayores emisiones de forma de tener los mayores impactos posibles con las opciones de mitigación seleccionadas. Figura 35 presenta dichas emisiones.

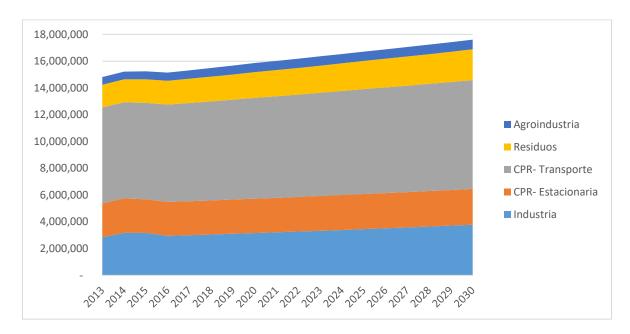


Figura 35. Proyección de emisiones por sector para el período 2013-2030 [ton CO2e]. Fuente: Elaboración propia.

Se identifica que el sector transporte, dentro del sector CPR es uno de los mayores emisores. Por otra parte, el sector CPR, sin considerar transporte, y contabilizando el uso energía estacionaria también tiene un peso relevante, donde el consumo residencial, comercial e institucional tiene las principales emisiones a diferencia de otras ciudades a lo largo de Chile que tienen un carácter más industrial. El sector residuos también posee una importancia relevante que normalmente no es considerada. Dado lo anterior, estos sectores debieran ser prioridad para seleccionar las opciones de mitigación a evaluar (i.e. transporte, residencial estacionario y residuos).

El sector residuos presenta un nivel de emisiones también alto y creciente en el tiempo. El subsector de disposición final es la principal fuente de emisiones, principalmente de metano.





Finalmente, ya que el objetivo es que estas medidas de mitigación sean lideradas a nivel local, se opta por excluir del listado final aquellas medidas que deban ser coordinadas a nivel nacional.

5.3.3 Selección y Priorización de Medidas de Mitigación de Emisiones de GEI a ser desarrolladas dentro de un Plan de Acción

Según los criterios descritos en la sección anterior se seleccionaron un conjunto de medidas que deben ser implementadas dentro de un marco de Plan de Acción para la Mitigación de Emisiones GEI dentro de la Región Metropolitana Tabla 16.





Tabla 16. Medidas para la Mitigación de Emisiones

Sector	Subsector	Medida	Descripción
	Buses	Carriles especiales para vehículos de alta ocupación / Implementación de Infraestructura en el Transporte Público Renovación flota de buses de transporte	Bus Rapid Transit: Consiste en la implementación de infraestructura para fomentar el transporte público; construcción de corredores exclusivos para buses físicamente separados del flujo vehicular y paraderos de buses con pago en el exterior del bus.
	Duscs	público, aplicando criterios verdes en la adjudicación / Buses de transporte publico de bajas emisiones	Acelerar el recambio de buses de transporte público incluyendo criterios de compras verdes en las licitaciones realizadas. Esta medida tendría efectos de mejores rendimientos del transporte público.
	Publico	Compra de vehículos con criterios verdes	
		Conducción Eficiente	Capacitación a los conductores de vehículos livianos, buses, taxis colectivos y camiones en mejores prácticas de conducción con el objeto de recorrer la misma distancia pero con un menor consumo energético.
		Extensión del Metro	
Transporte		Zona Verde para el Transporte	Esta medida tiene como objetivo analizar variantes de la medida (NAMA) impulsada por el Gobierno de Chile la cual contempla 4 iniciativas principales: 1) Promoción de vehículos de cero y baja emisión, 2) Buses de transporte público de bajas emisiones, 3) Promoción de los modos no motorizados y 4) Rediseño y gestión de tráfico.
		Infraestructura modo bicicleta	Esta medida contempla la intervención de vías y espacios públicos con infraestructura para bicicletas, con el objeto de fomentar el cambio de partición modal desde vehículos motorizados a no motorizados.
		Peatonalización de calles	Fomentar la caminata en tramos cortos en los centros urbanos a través de la peatonalización de calles y el acceso restringido de vehículos
		Programa de bicicleta pública	Instaurar un sistema de alquiler o préstamo a usuarios previamente inscritos para uso de bicicletas públicas.
		Tarificación vial y encarecimiento de estacionamientos	Implementación de tarificación vial y encarecimiento de estacionamientos en algunas zonas de Santiago.
Residuos	Residuos sólidos	Creación de programa de recolección selectiva y corrientes de tratamiento diferenciadas	- Compostaje en planta - Reciclaje de productos prioritarios
		Compostaje domiciliario	Utilización de composteras domiciliarias para el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos domiciliarios, evitando que vayan a parar a sitios de eliminación de residuos sólidos.







Sector	Subsector	Medida	Descripción
		Sistema de captación de biogás en los rellenos sanitarios para quema o venta energética o térmica	 Aumentar la cobertura de captura y quema de biogás con antorchas tradicionales empleadas en rellenos sanitarios (RRSS) nuevos y antiguos. se incremente el porcentaje de captura de biogás y se instalen centrales eléctricas. De esta forma, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se produce de 2 maneras: 1) reducción directa por cambio de emisión de metano a CO2 proveniente de la combustión del biogás, y 2) reducción indirecta por desplazamiento de electricidad en el sistema eléctrico. Recuperar el biogás generado en rellenos sanitarios, purificarlo de manera que la composición sea homologable a la del gas natural (GN) e inyectarlo a la red para su distribución comercial.
		Compostaje de RSM provenientes de ferias libres	Desvío de los residuos sólidos municipales provenientes de ferias libres y podas municipales hacia plantas especializadas donde se realice compostaje por medio de pilas de volteo automatizadas.
		Tratamiento Mecánico Biológico	Instalación y aplicación de tecnología complementaria a los rellenos sanitarios para disminuir el volumen de residuos a disponer en el relleno sanitario mediante la selección previa y recuperación de fracciones reciclables. Los residuos resultantes tendrán un tamaño pequeño y alto contenido orgánico por lo cual se pasa a una etapa de tratamiento biológica mediante compostaje
	Aguas residuales	Digestión de lodos domiciliarios	
	D. LU	Reducir el consumo energético del alumbrado público	
Energía	Publico	Autoabastecimiento (net-billing) en edificios públicos	Instalación de paneles fotovoltaicos en los edificios de carácter público para satisfacer la demanda eléctrica de los mismos, y en caso de excedentes vender a la red.
Estacionaria	Residencial	Programa de adopción de sistemas solares térmicos y agua caliente sanitaria	Instalación de colectores solares para el uso en agua caliente sanitaria en viviendas.
		Autoabastecimiento (net-billing) en viviendas	Instalación de paneles fotovoltaicos en viviendas para satisfacer la demanda eléctrica de las mismas. En caso de excedentes estos se inyectan a la red siguiendo (Ley 20.571).

Fuente: Elaboración propia





Finalmente, y considerando además las iniciativas que ya se encuentran en desarrollo dentro de la Región Metropolitana, se clasifican las medidas e iniciativas según tipo de acción, prioridad y plazo de ejecución, clasificación que se presenta en la Tabla 17.





Tabla 17. Acciones de Mitigación según Tipo de Acción, Prioridad y Plazo de Ejecución

Acción	Tipo de Acción	Prioridad	Plazo	Comentarios
Implementación de Infraestructura en el Transporte Público	Gap	Alta	Corto	Bus Rapid Transit: Consiste en la implementación de infraestructura para fomentar el transporte público; construcción de corredores exclusivos para buses físicamente separados del flujo vehicular y paraderos de buses con pago en el exterior del bus.
Buses de transporte publico de bajas emisiones	Gap	Alta	Mediano	Acelerar el recambio de buses de transporte público incluyendo criterios de compras verdes en las licitaciones realizadas. Esta medida tendría efectos de mejores rendimientos del transporte público.
Compra de vehículos con criterios verdes	Gap	Media	Corto	
Conducción Eficiente	Plan	Alta	Corto	Capacitación a los conductores de vehículos livianos, buses, taxis colectivos y camiones en mejores prácticas de conducción con el objeto de recorrer la misma distancia pero con un menor consumo energético.
Extensión del Metro	Gap	Media	Mediano	
Zona Verde para el Transporte	Gap	Alta	Mediano	Esta medida tiene como objetivo analizar variantes de la medida (NAMA) impulsada por el Gobierno de Chile la cual contempla 4 iniciativas principales: 1) Promoción de vehículos de cero y baja emisión, 2) Buses de transporte público de bajas emisiones, 3) Promoción de los modos no motorizados y 4) Rediseño y gestión de tráfico. - Taxis cero emisión comenzaron sus operaciones en la Región Metropolitana
Infraestructura modo bicicleta	Proyecto	Alta	Corto	Esta medida contempla la intervención de vías y espacios públicos con infraestructura para bicicletas, con el objeto de fomentar el cambio de partición modal desde vehículos motorizados a no motorizados.







Acción	Tipo de Acción	Prioridad	Plazo	Comentarios
Peatonalización de calles	Gap	Media	Mediano	Fomentar la caminata en tramos cortos en los centros urbanos a través de la peatonalización de calles y el acceso restringido de vehículos
Programa de bicicleta pública	Proyecto	Alta	Corto	Instaurar un sistema de alquiler o préstamo a usuarios previamente inscritos para uso de bicicletas públicas.
Tarificación vial y encarecimiento de estacionamientos	Gap	Media	Mediano	Implementación de tarificación vial y encarecimiento de estacionamientos en algunas zonas de Santiago.
Creación de programa de recolección selectiva y corrientes de tratamiento diferenciadas	Gap	Alta	Mediano	Compostaje en planta (La Pintana y Ñuñoa ya se encuentran realizándolo) Reciclaje de productos prioritarios
Compostaje domiciliario	Gap	Alta	Mediano	Utilización de composteras domiciliarias para el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos domiciliarios, evitando que vayan a parar a sitios de eliminación de residuos sólidos. - Municipalidad de Providencia se encuentra desarrollando un piloto
Sistema de captación de biogás en los rellenos sanitarios para quema o venta energética o térmica	Gap	Media	Largo	- Aumentar la cobertura de captura y quema de biogás con antorchas tradicionales empleadas en rellenos sanitarios (RRSS) nuevos y antiguos. - Incrementar el porcentaje de captura de biogás y se instalen centrales eléctricas. De esta forma, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se produce de 2 maneras: 1) reducción directa por cambio de emisión de metano a CO2 proveniente de la combustión del biogás, y 2) reducción indirecta por desplazamiento de electricidad en el sistema eléctrico. - Recuperar el biogás generado en rellenos sanitarios, purificarlo de manera que la composición sea homologable a la del gas natural (GN) e inyectarlo a la red para su distribución comercial.







Acción	Tipo de Acción	Prioridad	Plazo	Comentarios
Compostaje de RSM provenientes de ferias libres	Gap	Alta	Corto	Desvío de los residuos sólidos municipales provenientes de ferias libres y podas municipales hacia plantas especializadas donde se realice compostaje por medio de pilas de volteo automatizadas.
Tratamiento Mecánico Biológico	Gap	Media	Mediano	Instalación y aplicación de tecnología complementaria a los rellenos sanitarios para disminuir el volumen de residuos a disponer en el relleno sanitario mediante la selección previa y recuperación de fracciones reciclables. Los residuos resultantes tendrán un tamaño pequeño y alto contenido orgánico por lo cual se pasa a una etapa de tratamiento biológica mediante compostaje
Digestión de lodos domiciliarios	Proyecto	Media	Mediano	
Reducir el consumo energético del alumbrado público	Gap	Media	Mediano	
Autoabastecimiento (net-billing) en edificios públicos	Gap	Media	Mediano	Instalación de paneles fotovoltaicos en los edificios de carácter público para satisfacer la demanda eléctrica de los mismos, y en caso de excedentes vender a la red.
Programa de adopción de sistemas solares térmicos y agua caliente sanitaria	Plan	Media	Mediano	Instalación de colectores solares para el uso en agua caliente sanitaria en viviendas.
Autoabastecimiento (net-billing) en viviendas	Plan	Media	Mediano	Instalación de paneles fotovoltaicos en viviendas para satisfacer la demanda eléctrica de las mismas. En caso de excedentes estos se inyectan a la red siguiendo (Ley 20.571).
Ampliar el alcance a nivel regional del Plan integral de movilidad comuna de Santiago	Plan	Alta	Corto	Ejes Fundamentales: - Fomentar el transporte sustentable (caminata y bicicletas) Desincentivar el uso del vehículo particular motorizado, disminuyendo congestiones y priorizando el transporte público Mejorar el entorno, desarrollo urbano y la seguridad vial en barrios y zonas específicas de Santiago (comercio, escuelas, hospitales, etc.) Disminuir la







Acción	Tipo de Acción	Prioridad	Plazo	Comentarios
				contaminación ambiental Brindar las herramientas y la información necesaria para empoderar a los ciudadanos sobre el futuro de la comuna.
Ampliar el alcance a nivel regional del Plan de Sostenibilidad energética comuna de Providencia	Proyecto	Alta	Corto	Proyectos de autogeneración de energía: El 2015 año se licitaron tres proyectos de autogeneración. Un proyecto fotovoltaico para producir energía eléctrica, y dos proyectos de colectores solares para calentar agua sanitaria.
Revisar y ampliar el alcance regional de aprendizajes y logros del Plan Local de Cambio Climático comuna de La Pintana	Plan	Alta	Corto	Contiene medidas varias enfocadas en la mitigación y educación ambiental

Fuente: Elaboración propia





6. Conclusiones

El presente trabajo ha buscado sistematizar y recopilar antecedentes sobre el fenómeno del cambio climático global y su vinculación y expresión en el territorio y con actividades presentes en la Región Metropolitana de Santiago. A partir de este diagnóstico se discuten los desafíos más importantes en relación a la resiliencia de la Región.

Este análisis consideró a la Región Metropolitana como un agente activo en relación al cambio climático, tanto como generador de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a partir de sus actividades directas e indirectas, así como un receptor directo de los efectos ambientales e impactos del fenómeno en distintos sectores, tales como el industrial, residencial y agrícola, entre otros. Una primera etapa del análisis consistió en analizar las condiciones de base que explican la actividad de cada uno de estos sectores.

Se revisaron los impactos esperados del cambio climático en la región, tanto a nivel de variables meteorológicas relevantes como precipitación y temperatura, como también el efecto de estos cambios en variables como la magnitud y temporalidad de los caudales, el área glaciar, la ocurrencia de eventos favorables al desarrollo de incendios, entre otras. Se observa para la región una consistente señal de cambio climático hacia el aumento de temperatura y disminución progresiva de las precipitaciones, lo que en términos generales implica que se enfrentará una disminución en la disponibilidad de agua, principalmente en la época de primavera y verano, en conjunto con un adelantamiento en la ocurrencia de los caudales máximos, lo que afectaría directamente a importantes usuarios de agua de la cuenca, tales como el sector agrícola y residencial. Adicionalmente, en lo que respecta al aumento de temperaturas, se espera que continúe la tendencia al aumento de las temperaturas máximas anuales en la época de verano, con el consecuente riesgo para la generación de incendios y la ocurrencia de eventos de olas de calor en la ciudad.

A partir del análisis de las condiciones de base expuestas y de los impactos esperados del cambio climático, se planteó una estrategia y plan de acción para responder a los desafíos que se plantean en la región.

Se consideró, en un primer momento, acciones estructurales y transversales que permitirán ser el sustento luego de acciones de carácter sectorial a nivel regional en los componentes de mitigación y adaptación. En este sentido, se plantea la conformación de una "Mesa Regional de Cambio Climático", la cual sea la instancia de coordinación de acciones y de capacidades técnicas para la planificación y ejecución de acciones de los distintos servicios y agentes del estado. En paralelo, se hace necesario el diseño, elaboración, operación y mantención de un Plan de Monitoreo para la cuenca, la cual permita consolidar y reunir información relevante para la toma de decisiones, permitiendo asimismo a los distintos actores interesados, acceder a información relativa a condiciones ambientales actuales y futuras que les permitan identificar riesgos y, por tanto, planificar acciones que aumenten su resiliencia.

A partir de esta propuesta de acciones transversales, se desprenden una serie de recomendaciones que apuntan a abordar los distintos espacios de oportunidad en temas de mitigación y adaptación,





planteando acciones para las distintas dimensiones de tratadas. En mitigación se abordan los componentes de transporte, gestión de residuos y eficiencia energética y en adaptación aspectos como eficiencia en el uso del agua y mejor gestión, planificación territorial para la disminución del riesgo y acciones que disminuyan la exposición de la población a eventos de inundación y olas de calor.

Es de destacar la inclusión de temas hasta ahora poco abordados por la investigación y las políticas públicas tales como la gestión del agua vinculada con la mantención de parques metropolitanos y plazas públicas. Su rol como elementos territoriales multipropósito los convierten en interesantes elementos de estudio y abordaje, al suministrar espacios de esparcimiento, generar zonas frescas en la ciudad, depuración del aire, infiltración de precipitaciones, entre otros. Pero su mantención, en especial respecto al riego, requiere de importantes cantidades de agua disponible lo cual es un desafío complejo en un contexto de disminución de caudales. Asimismo, aspectos como la calidad del agua en cursos superficiales, vinculada tanto a las descargas industriales directas, así como a los vertimientos de las plantas de tratamiento de aguas servidas con miras al cumplimiento de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental para la cuenca, plantean desafíos importantes, más aún considerando los impactos esperados de disminución y cambio en la temporalidad de caudales en toda la región.

Como parte de los aprendizajes que emergen de los procesos multiactor de carácter participativo que se han desarrollado en la región y que han abordado la problemática del cambio climático (proyectos Clima Adaptación Santiago - CAS y Maipo Plan de Adaptación - MAPA), es importante el avanzar en la identificación de liderazgos institucionales que puedan recoger tanto el conocimiento científico y técnico generado, así como establecer mecanismos de coordinación, fomento y visibilización de las múltiples acciones, proyectos, planes y programas que ocurren y debiesen ocurrir en la región como parte de esta estrategia de resiliencia.

Adicionalmente es importante reconocer y considerar en el proceso de toma de decisión asociado a este plan y las acciones que propuestas, las múltiples interacciones existentes entre distintas dimensiones y componentes del sistema. Es necesario considerar los efectos de ciertas medidas de mitigación en mejorar la resiliencia de la ciudad, disminuyendo su dependencia de distintas fuentes de energía y la generación de co-beneficios potenciales. En este sentido, por ejemplo, acciones que disminuyan las emisiones de gases y material particulado afectarán positivamente la salud de la población y disminuirán el material particulado depositado sobre masas de nieve y hielo en cordillera. Por su parte, la disminución en la disponibilidad de agua desde fuentes superficiales junto al aumento proyectado en la demanda de agua, aumentarán la presión sobre recursos de agua subterránea en la cuenca, lo que causaría un aumento en el consumo de energía por el funcionamiento de bombas, con el consecuente aumento de las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero a partir de la matriz de generación energética actual.

El cambio climático junto al desarrollo de las sociedades y su territorio, plantean importantes desafíos a la resiliencia de los sistemas humanos y naturales. En sistemas con vulnerabilidades actuales relevantes, con alta concentración de usuarios y una alta presión en el uso de recursos, las proyecciones de cambios en el clima y el crecimiento poblacional demandan la generación de acciones que busquen enfrentar, tanto los desafíos actuales como futuros, con amplitud de mirada,





basada en conocimiento científico y técnico y herramientas sólidas que permitan el considerar e incluir en el análisis las distintas dimensiones y actores involucrados.





7. Bibliografía

- Bell, M.L. et al., 2008. Ancillary human health benefits of improved air quality resulting from climate change mitigation .
- BID, 2013. Estrategias de mitigación y métodos para la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector transporte. *Banco Interamericano del Desarrollo*.
- BID, 2015. Iniciativa Ciudades Emergentes Sostenibles,
- CCG-UC & CEDEUS-UC, 2016. Escenarios de consumo de agua en Santiago para el periodo 2015 2030, Santiago, Chile.
- Centro UC Cambio Global, 2014. PROYECCIÓN ESCENARIO LÍNEA BASE 2013 Y ESCENARIOS DE MITIGACIÓN DE LOS SECTORES GENERACIÓN ELÉCTRICA Y OTROS CENTROS DE TRANSFORMACIÓN.
- CEPAL, 2009. La economía del Cambio Climático en Chile. Sintesis,
- Cifuentes, L. et al., 2001. Assessing The Health Benefits of Urban Air Pollution Reductions Associated With Climate Change Mitigation 2000-2020: Santiago, São Paulo, Mexico City, and New York City. *Environmental Health Perspectives*, 109(suppl 3), pp.419–425.
- CNE, 2016a. Consumo de Combustible SIC.
- CNE, 2016b. Generacion Bruta SIC-SING,
- Comision Nacional de Medio Ambiente, 2011. Cobeneficios de la Mitigación de GEI. Estudio desarrollado por GreenlabUC,
- DESE UC & GreenlabUC, 2016. Desarrollo Urbano y el Cambio Climatico: Huella Urbana e Historica, Escenarios de Crecimiento Urbano y Estudios Basicos sobre Mitigacion y Adaptacion al Cambio Climatico en la Conurbacion La Serena/Coquimbo, SUBDERE. Informe Tarea 1: Inventario de Emision.
- 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(D4), pp.1–16.
- Fundación Chile, 2014. Proyección Escenario Línea Tendencial 2012 y Escenarios de Mitigación del Sector Comercial, Público y Residencial
- GORE RM & Ministerio de Medio Ambiente, 2012. Plan de Adaptación al Cambio Climático para la Región Metropolitana de Santiago de Chile
- Greene, A.M., Hellmuth, M. & Lumsden, T., 2012. Stochastic decadal climate simulations for the Berg and Breede Water Management Areas, Western Cape province, South Africa. *Water Resources Research*, 48(6), p.W06504.
- GreenLabUC, 2014. Proyección Escenario Línea Base 2013 y Escenarios de Mitigación del Sector Residuos Antrópicos,
- INE, 2011. Distribución energía eléctrica por región y tipo de cliente 2007-2010,





- INE, 2014. Informe Anual del Medio ambiente,
- INE, 2007. VII Censo Nacional Agropecuario, Santiago, Chile.
- INFOR-INIA, 2014. Informe Final Proyección Escenario Línea Tendencial 2013 y Escenarios de Mitigación del Sector Silvoagropecuario y Cambio de Uso de Suelo.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007 The Physical Science Basis Fourth Assessment Report (AR4) S. Solomon et al., eds., Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2013. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. *IPCC*, AR5(March 2013), p.2014.
- Krellenberg, K. et al., 2013. Flood and heat hazards in the Metropolitan Region of Santiago de Chile and the socio-economics of exposure. *Applied Geography*, 38, pp.86–95.
- Lempert, R. et al., 2004. Characterizing climate-change uncertainties for decision-makers. An editorial essay. *Climatic Change*, 65(1–2), pp.1–9.
- Lempert, R.J., 2003. Shaping the Next One Hundred Years: New Methods for Quantitative, Long-Term Policy Analysis,
- Lempert, R.J. & Groves, D.G., 2010. Identifying and evaluating robust adaptive policy responses to climate change for water management agencies in the American west. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(6), pp.960–974.
- Ministerio de Medio Ambiente, 2016. Santiago Zona Verde.
- Ministerio del Medio Ambiente, 2011. Informe del Estado del Medio Ambiente., pp.1–44.
- Ministerio del Medio Ambiente Chile, 2016. *Anteproyecto del Plan de Prevensión y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago*,
- MMA, 2016. Segundo Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático,
- Municipalidad de La Pintana, 2016. Plan Local de Cambio Climático comuna de La Pintana.
- Municipalidad de Providencia, 2016. Sostenibilidad energética comuna de Providencia.
- Municipalidad de Santiago, 2016. Plan integral de movilidad comuna de Santiago.
- Reyes, S. & Figueroa, I., 2010. Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. *EURE (Santiago)*, 36(109), pp.89–110.
- Ribeiro, D. et al., 2015. Enhancing Community Resilience through Energy Efficiency.
- Rosenzweig, C. et al., 2011. Climate change and cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network Urban. *Sustainable Development Opinion*.
- SEC, 2016. Informes Estadísticos 2007-2015.
- SISS, 2013. Informe de Gestión del Sector Sanitario 2013.
- Sistemas Sustentables, 2014. Proyección escenario línea base 2013 y escenarios de mitigación de los sectores transporte y urbanismo,





- SNI Chile, 2014. Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero de Chile, serie temporal 1990-2010. Sistema Nacional de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero.
- Stephens, S.L. et al., 2013. Managing Forests and Fire in Changing Climates. Science, 342(6154).
- UNTEC Fundación para la Transferencia Tecnológica, 2014. MAPS CHILE INDUSTRIA Y MINERÍA LÍNEA BASE 2013 Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN,
- Wise, R.M. et al., 2014. Reconceptualising adaptation to climate change as part of pathways of change and response. *Global Environmental Change*, 28, pp.325–336.