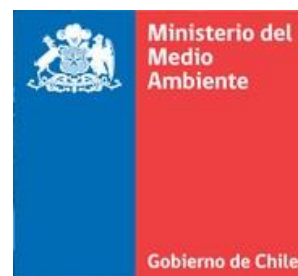

Evaluación de soluciones tecnológicas térmicas y eléctricas, marco regulatorio e instrumentos

Calefacción distrital con biomasa en Chile Evaluación del potencial de reducción de emisiones en Rancagua

Desarrollado por:



Para:



Septiembre de 2013

Prefacio

Este informe pertenece a una serie de documentos generados como resultado del estudio “Evaluación de soluciones tecnológicas térmicas y eléctricas, marco regulatorio e instrumentos”, en el marco de un Convenio de Cooperación y Transferencia de Recursos entre la Subsecretaría de Energía, la Subsecretaría del Medio Ambiente y la Universidad de Concepción.

El objetivo general del Convenio fue generar antecedentes que apoyaran una estrategia para el uso de energías limpias, mediante la introducción de modelos, sistemas eléctricos y térmicos eficientes y amigables con el medio ambiente, a objeto de colaborar con el mejoramiento de la calidad ambiental de zonas saturadas de nuestro país.

En específico, se buscó evaluar la prefactibilidad de implementar sistemas de calefacción distrital y/o cogeneración con biomasa en zonas saturadas del país, como medida para reducir los niveles de contaminación atmosférica generados por la combustión residencial de leña en condiciones inadecuadas, sin dejar de fomentar el uso de biomasa como un energético local y renovable.

Para ello, el estudio consideró la evaluación de los aspectos técnicos relacionados a la instalación de plantas de generación y distribución centralizada de calor, inversiones y costos asociados, factores de mercado y modelos de negocio, aspectos normativos atinentes a la instalación y operación de estos sistemas, revisión y propuesta de instrumentos de fomento para rentabilizar los proyectos, análisis de la tarifa de venta del servicio, evaluación de la rentabilidad privada y social, y evaluación del potencial de reducción de emisiones en las zonas afectadas.

El estudio se materializó en 7 documentos. Los dos primeros contienen los análisis de prefactibilidad técnica, económica y social para las ciudades de Rancagua y Osorno, respectivamente. Se incluyó en estos documentos, el estudio de la oferta de biomasa de las Regiones de O’Higgins y Los Lagos, el análisis de modelos de negocio para los proyectos piloto seleccionados, el proceso de selección de proyectos piloto en ambas ciudades, las

evaluaciones de requerimientos térmicos en viviendas y edificios, el diseño conceptual de los proyectos seleccionados, y la evaluación económica y social. El tercer documento corresponde al análisis del marco normativo vigente y propuestas de perfeccionamiento, mientras que el cuarto corresponde a la revisión de los mecanismos de fomento y propuesta de nuevos instrumentos. El quinto documento entrega una revisión de las tecnologías comercialmente disponibles para la combustión de biomasa y abatimiento de gases. Finalmente, el sexto y séptimo documento arrojan una evaluación de la reducción de emisiones de material particulado y otros contaminantes gaseosos, por la implementación de proyectos de calefacción distrital con biomasa en toda la expansión urbana de las ciudades de Rancagua y Osorno, respectivamente, en comparación a la situación actual proyectada a 12 años.

En resumen, los documentos que componen la serie “Calefacción distrital con biomasa en Chile” son:

1. Evaluación de prefactibilidad técnica, económica y social de proyectos piloto en Rancagua
2. Evaluación de prefactibilidad técnica, económica y social de proyectos piloto en Osorno
3. Marco normativo vigente y propuestas de perfeccionamiento
4. Barreras de mercado e instrumentos de fomento
5. Tecnologías para la combustión de biomasa, cogeneración y abatimiento de gases
6. Evaluación del potencial de reducción de emisiones en Rancagua
7. Evaluación del potencial de reducción de emisiones en Osorno

Equipo de trabajo

Equipo ejecutor

Director de proyecto: Alex Berg, Unidad de Desarrollo Tecnológico

Jefe de proyecto: Javier Soubelet, Unidad de Desarrollo Tecnológico

Desarrollo del documento:

Jorge Jiménez, Universidad de Concepción

Cristian Mardones, Universidad de Concepción

Contraparte técnica

Viviana Ávalos, División de Energías Renovables, Ministerio de Energía

Ximena Ubilla, División de Energías Renovables, Ministerio de Energía

Viviana Ubilla, Departamento de Normas, Ministerio del Medio Ambiente

Tabla de Contenidos

1	Antecedentes	1
2	Descripción de los escenarios de calefacción para los futuros proyectos inmobiliarios	4
2.1	Escenario 1	4
2.2	Escenario 2	8
3	Estimación del impacto en la calidad del aire de los nuevos proyectos inmobiliarios	10
3.1	Selección del modelo de dispersión.....	10
3.2	Meteorología de superficie	12
3.3	Dominio de la modelación	13
3.4	Receptores puntuales	15
3.5	Topografía y uso de suelo	16
3.6	Consideraciones de la aplicación del modelo.....	18
3.6.1	Emisiones atmosféricas de los nuevos desarrollos urbanos.....	19
3.6.2	Simulación de las emisiones atmosféricas de las nuevas viviendas	23
3.6.3	Distribución temporal de las emisiones atmosféricas	23
4	Cuantificación de beneficios directos en salud	25
4.1	Tasas de efectos en la salud	26
5	Resultados	27
5.1	Consumo de biomasa y emisiones de contaminantes del aire.....	27
5.1.1	Escenario 1	27
5.1.2	Escenario 2	29

5.2	Impacto en la calidad del aire de las emisiones de los sistemas de calefacción	31
5.2.1	Escenario 1	31
5.2.2	Escenario 2	39
5.2.3	Beneficios Directos en Salud por la Reducción de la Concentración Ambiental de Material Particulado	47
6	Conclusiones	50
7	Referencias bibliográficas	52
ANEXOS		54
	ANEXO A: LOCALIZACIÓN DE LOS PROYECTOS DE CALEFACCIÓN DISTRITAL EN FUTUROS BARRIOS DE RANCAGUA	55
	ANEXO B: VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO EN EL DOMINIO DE LA MODELACIÓN	58

1 Antecedentes

La Región del Libertador Bernardo O’Higgins ha presentado problemas en la calidad del aire por Material Particulado Respirable (MP10, material particulado con diámetro aerodinámico igual o menor a 10 micrometros) según mediciones registradas entre los años 2004 y 2007 en las estaciones de monitoreo de Rancagua, San Francisco de Mostazal, Codegua y Casas de Peuco donde se han registrado valores por sobre la norma diaria.

El 03 de febrero de 2009, fue declarada Zona Saturada por Material Particulado Respirable MP10, la zona comprendida por el Valle Central de la Región de O’Higgins, siendo publicado en el Diario Oficial, el Decreto Supremo D.S. N°7/2009 de MINSEGPRES (Publicado el 27 de Marzo del año 2009). El área declarada saturada por MP10 (en sus niveles anual y diario) corresponde a las 17 comunas del valle central de la región de O’Higgins, algunas de ellas incluidas en forma parcial de acuerdo a la delimitación mostrada en la figura 1.1.

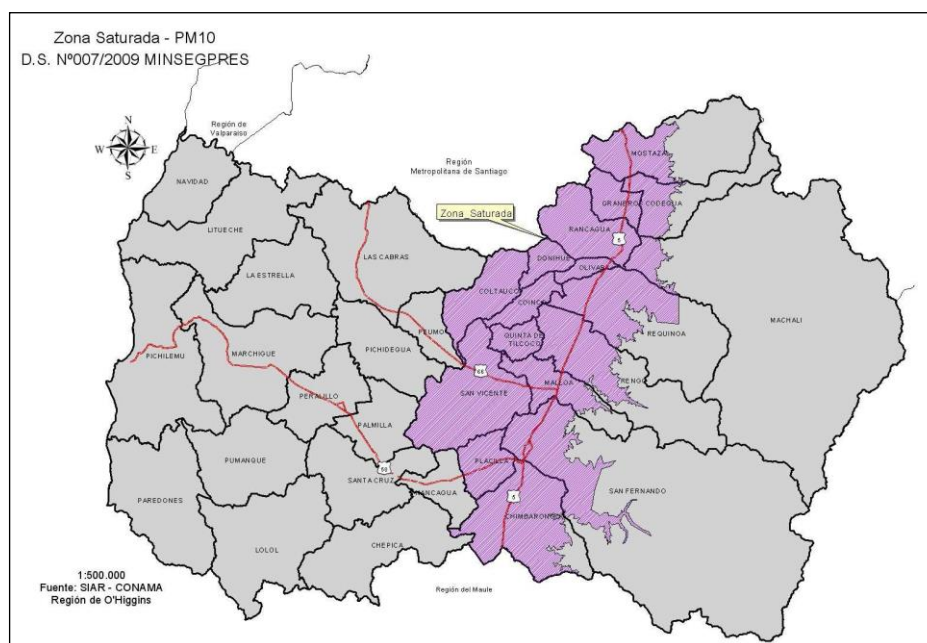


Figura 1.1: Comunas pertenecientes a zona saturada por material particulado respirable MP10

Fuente: SIAR – Seremi MMA Región O’Higgins

Dentro de las comunas declaradas saturadas por material particulado respirable, se encuentra la ciudad de Rancagua, con una población de 232.532 habitantes (Censo 2012 preliminar) y una superficie de 260 km². El estudio de CENMA (2007) “Estudio Diagnóstico Fuentes de Emisión Responsables del Material Particulado Respirable, MP10 en Rancagua” señala que las concentraciones de MP10 tienen un fuerte comportamiento estacional, con un notorio aumento de los niveles en los meses de otoño-invierno, durante los cuales algunos días alcanzan concentraciones en el rango de alerta y pre-emergencia. Además, el comportamiento de las concentraciones de MP10 durante el día también presenta fuertes diferencias entre meses de primavera-verano (con menores concentraciones) y los meses de otoño-invierno durante los cuales hay un pronunciado aumento de las concentraciones durante la noche, debido a la combustión de leña para calefacción.

Los registros de calidad del aire de la ciudad de Rancagua para las estaciones existente en la ciudad y registrados en el Sistema Nacional de Calidad del Aire (SINCA), muestran que los niveles ambientales de MP10 y MP2,5 se encuentran excedidos tanto para MP10 como para los niveles ambientales de MP2.5.

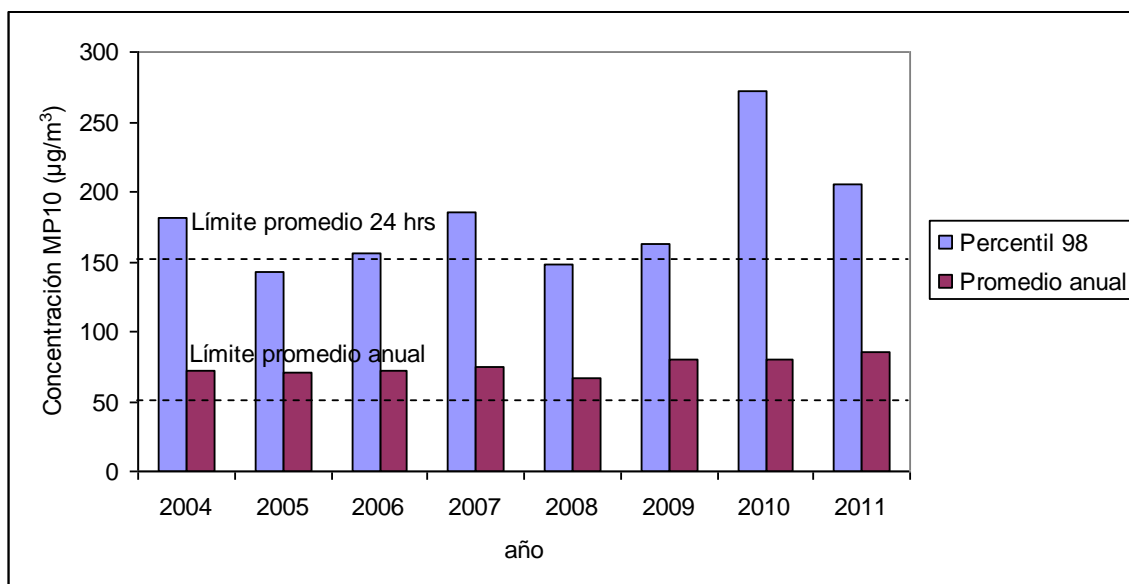


Figura 1.2: Percentil 98 de concentración 24 horas para MP10. Periodo 2004-2011.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SINCA

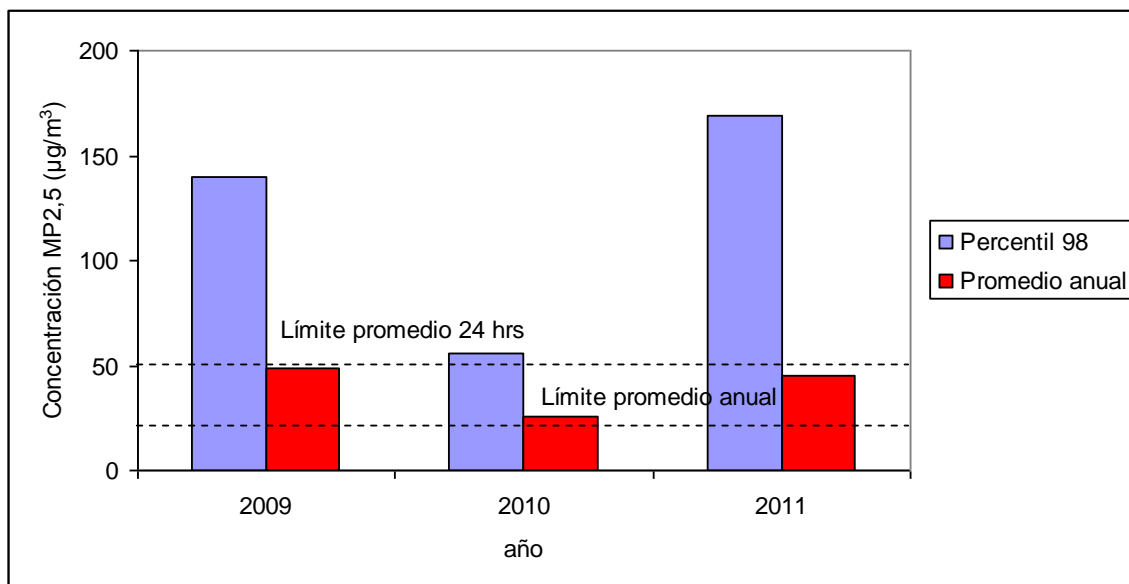


Figura 1.3: Percentil 98 de concentración 24 horas para MP2,5. Periodo 2009-2011.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SINCA

Los siguientes capítulos contienen los resultados del análisis de dos escenarios de calefacción en los futuros proyectos inmobiliario para la evaluación del impacto sobre la concentración del MP10, MP2.5 y otros contaminantes atmosféricos en la ciudad de Rancagua.

Los escenarios evaluados para estimar el efecto del crecimiento de la ciudad de Rancagua en la calidad del aire, en particular, en los niveles ambientales de MP10, MP2.5 y otros contaminantes del aire, corresponden a 2 escenarios de calefacción para los nuevos desarrollos habitacionales de la ciudad de Rancagua. Éstos se describen brevemente a continuación:

- **Escenario 1 (E1):** considera el desarrollo de los nuevos proyectos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua, utilizando sistemas de calefactores a leña convencionales, entre ellos estufas de combustión lenta con sistema de templador (actual sistema disponible en los calefactores nacionales).
- **Escenario 2 (E2):** considera el desarrollo de los nuevos proyectos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua, utilizando sistemas de calefacción distrital o comunitaria, operados con biomasa de origen vegetal.

2 Descripción de los escenarios de calefacción para los futuros proyectos inmobiliarios

A continuación, se describen las consideraciones para el desarrollo de los escenarios de calefacción definidos para los futuros proyectos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua.

2.1 Escenario 1

El Escenario 1 (E1) se aplica al desarrollo de nuevos proyectos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua. Para ello, se utilizó el Plan Regulador Comunal e información de los actuales desarrollos urbanos en Rancagua. Para el análisis inicial, se consideraron los proyectos inmobiliarios levantados en el estudio. En la tabla 2.1, se indican los futuros proyectos inmobiliarios estudiados (Conjunto La Compañía, Condominio Samuel Román, Parque Viña Santa Blanca, junto con una proyección de nuevos desarrollos, siguiendo los patrones de superficie, número de viviendas según localización, y tipo de vivienda). La localización geográfica de estos proyectos se muestra espacialmente en la figura 2.1.

Nombre proyecto	Superficie, m ²	Número viviendas
F57	55.633	253
F65	64.854	295
F110	78.672	357
F37	23.351	106
Parque Viña Santa Blanca	159.089	699
F1	23.401	106
Galilea F	154.759	703
La Compañía	114.623	538
Condominio Samuel Román	7.200	108
F14	34.137	155
F62	43.986	200
Compañía real III (I-V)	90.867	413
F111	160.705	730
F15	31.895	145
F9	25.199	114
F85	66.527	302
Loteo Puertas de Don Vicente	3.751	17
F86	32.829	149
F13	24.395	111
Doña Sofía I-II-II	64.541	293

Tabla 2.1: Proyectos inmobiliarios proyectados para la ciudad de Rancagua

Fuente: Elaboración propia



Figura 2.1: Futuros proyectos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua

Fuente: Elaboración propia en base a imagen de Google Earth

Para efectos de penetración de calefactores de leña en los futuros hogares, se utilizó la información generada en el estudio EULA (2010), donde se estimó que el 60% de los hogares de Rancagua se calefacciona con estufas a leña. El consumo medio de leña por hogar, proyectado para las nuevas viviendas que utilizarían estufas a leña, fue de 1.450 kg/año de leña (base húmeda) según EULA (2010).

Los factores de emisión de contaminantes del aire considerado para el análisis, corresponden a valores propuestos por DICTUC (2009) para estufas de cámara simple con sistema de templador y se muestran en la tabla 2.2, según el rango de contenido de humedad de la leña. En la tabla, se puede apreciar que las emisiones de material particulado (MP10 y MP2,5) son sensibles al contenido de humedad de la leña y la

operación del calefactor. Cabe señalar que una importante proporción de calefactores que se encuentran disponibles en el mercado nacional, operan mal cuando se les restringe la entrada de aire para la cámara principal, lo que conlleva a emisiones elevadas de material particulado y monóxido de carbono.

Para efectos de estimar las emisiones de los futuros proyectos, se consideró que el 60% de la leña se encuentra seca ($\%H \leq 20\%$ base húmeda), el 30% semi-húmeda ($20 < \%H \leq 30\%$ base húmeda) y el 10% húmeda ($H > 30\%$ base húmeda). Adicionalmente, el 37% de los calefactores operaría en forma inadecuada, debido a la mala utilización de la regulación del aire primario de combustión. Los factores de emisión, ponderados por el contenido de humedad de la leña, se muestran en la tabla 2.3.

Rango %H leña (base húmeda)	Factor de emisión Calefactor Cámara simple y templador g/kg leña					
	MP10	MP2.5	CO	NOx	COV	SOx
0-20	8,3	8,1	115,4	1,4	26,5	0,2
20-30	13,5	13,1	366,4	1,4	84,1	0,2
30-40	39,3	38,2	1041,3	1,4	239,1	0,2
Mala utilización ¹	76,0	73,9	1050,5	1,4	241,2	0,2

¹Operación inadecuada del control de aire primario de combustión

Tabla 2.2: Factor de emisión de contaminantes del aire para estufas de combustión lenta cámara simple y templador

Fuente: DICTUC (2009)

Rango %H leña (base húmeda)	Factor de emisión Calefactor Cámara simple y templador g/kg leña					
	MP10	MP2.5	CO	NOx	COV	SOx
Promedio ponderado	27,9	27,1	395,8	1,4	151,0	0,2

Tabla 2.3: Factor de emisión de Contaminantes del aire para estufas de combustión lenta cámara simple y templador ponderado por el contenido de humedad de la leña y operación del calefactor

Fuente: Elaboración propia

La estacionalidad del consumo de leña en los hogares se muestra en la figura siguiente, donde se aprecia que el mayor consumo de leña ocurre entre los meses de mayo y septiembre. En los meses de finales de primavera, verano y principio de otoño, se puede apreciar que existe un consumo bajo de leña, atribuible al uso de leña para cocción de alimentos en cocinas a leña. El uso de estas cocinas es mayor en los hogares con menores ingresos (EULA, 2010).

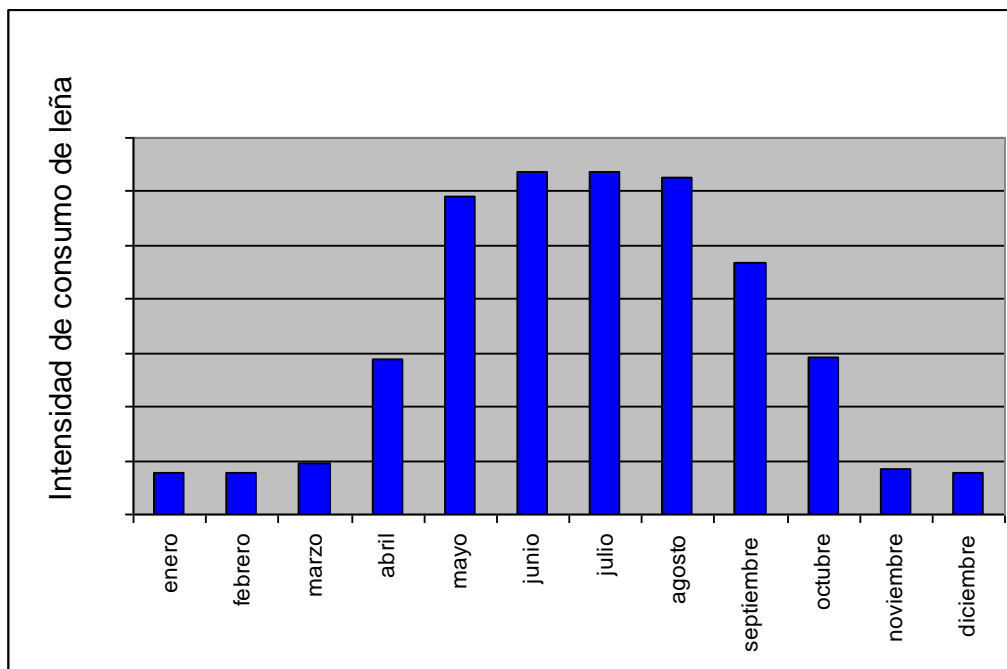


Figura 2.2.: Estacionalidad del consumo de leña en los hogares de Rancagua

Fuente: Elaboración propia

2.2 Escenario 2

El Escenario 2 (E2) considera la incorporación de sistemas de calefacción distrital para el desarrollo de los nuevos proyectos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua. Para ello, se tomaron las evaluaciones de los proyectos piloto residenciales en Rancagua, que corresponden al Conjunto la Compañía, Condominio Samuel Román y Parque Viña Santa Blanca, se consideraron los requerimientos de energía para calefacción, los consumos de biomasa y las características tecnológicas de las calderas de los sistemas de calefacción distrital propuestos para estos proyectos evaluados. Para más detalles de la localización de los proyectos de calefacción distrital en los futuros barrios de Rancagua, referirse al Anexo A.

El escenario de consumo de calefacción distrital para los hogares estudiados, considera los requerimientos térmicos y de potencia para mantener una temperatura de 21°C entre las 12:00 y las 23:00 hrs y de 15°C el resto del día.

Para calcular las emisiones de sustancias contaminantes del aire, se utilizaron factores de emisión del AP42 de la US EPA (Agencia de Protección Ambiental de EE.UU). Para ello, se seleccionó el tipo de tecnología del calentador/caldera, el tipo de combustible y el nivel de actividad de la fuente y los sistemas de abatimiento, si éste aplica, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$E = A \times EF \times (1 - ER/100) \quad \text{Eq. 1}$$

Donde:

E = Emisión total

A = Nivel de actividad de la fuente

EF = Factor de emisión de la fuente

ER =Eficiencia de los sistemas de control de emisiones, %.

Estos factores corresponden a procesos de combustión controlada de biomasa en calderas industriales y se detallan a continuación.

	(g/ MMBtu)					
Contaminante	MP10	MP2,5	NOx	SO ₂	COV	CO
Factor de Emisión para Biomasa seca	160	140	220	10	10	270

Tabla 2.4: Factores de emisión de contaminantes del aire para las calderas de biomasa para los sistemas de calefacción distrital

Fuente: US EPA AP-42 1.6 Open Combustion, Wood Residue Combustion in Boilers

Para el caso del control de emisiones de material particulado, se consideró la incorporación de un sistema de abatimiento de material particulado con una eficiencia de un 90%. Además, se consideró una condición donde la biomasa utilizada en los sistemas de calefacción distrital se encontraría seca (contenido de humedad <25% base seca). Por lo tanto, se ajustaron los factores de emisión de MP10 y MP2,5 a 8 g/MMBtu y 7 g/MMbtu, respectivamente.

3 Estimación del impacto en la calidad del aire de los nuevos proyectos inmobiliarios

Para efectos de evaluar el potencial impacto en la calidad del aire que tendrían los futuros desarrollos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua, en particular para el material particulado (MP10 y MP2,5), se utilizó la herramienta de modelación de calidad del aire CALMET-CALPUFF, la que también se utilizó para evaluar la relación que existe entre los niveles de emisión de sustancias contaminantes emitidos por los nuevos hogares y el aporte a los niveles de concentración observados en la ciudad de Rancagua. El uso del modelo permitiría considerar la variable espacial y temporal del impacto de las emisiones de los nuevos conjuntos habitacionales y evaluar los efectos de emisiones de los distintos escenarios considerados para el estudio.

3.1 Selección del modelo de dispersión

El sistema de modelación CALMET-CALPUFF es un modelo de calidad del aire reconocido por la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (US EPA) y es utilizado con fines regulatorios para evaluar el impacto de emisiones atmosféricas bajo condiciones de topografía y meteorología compleja. La utilización de este sistema de modelación involucrará el procesamiento de información meteorológica y topográfica utilizando los siguientes modelos y programas:

CALMET: Consiste en el modelo meteorológico que procesa la información disponible en observaciones de superficie, altura y/o datos de modelos meteorológicos tridimensionales (MM5 por ejemplo). CALMET genera los campos tridimensionales de vientos y temperaturas, al igual que campos bidimensionales de estabilidad atmosférica y altura de capa de mezcla, utilizando la topografía, uso de suelo y meteorología local.

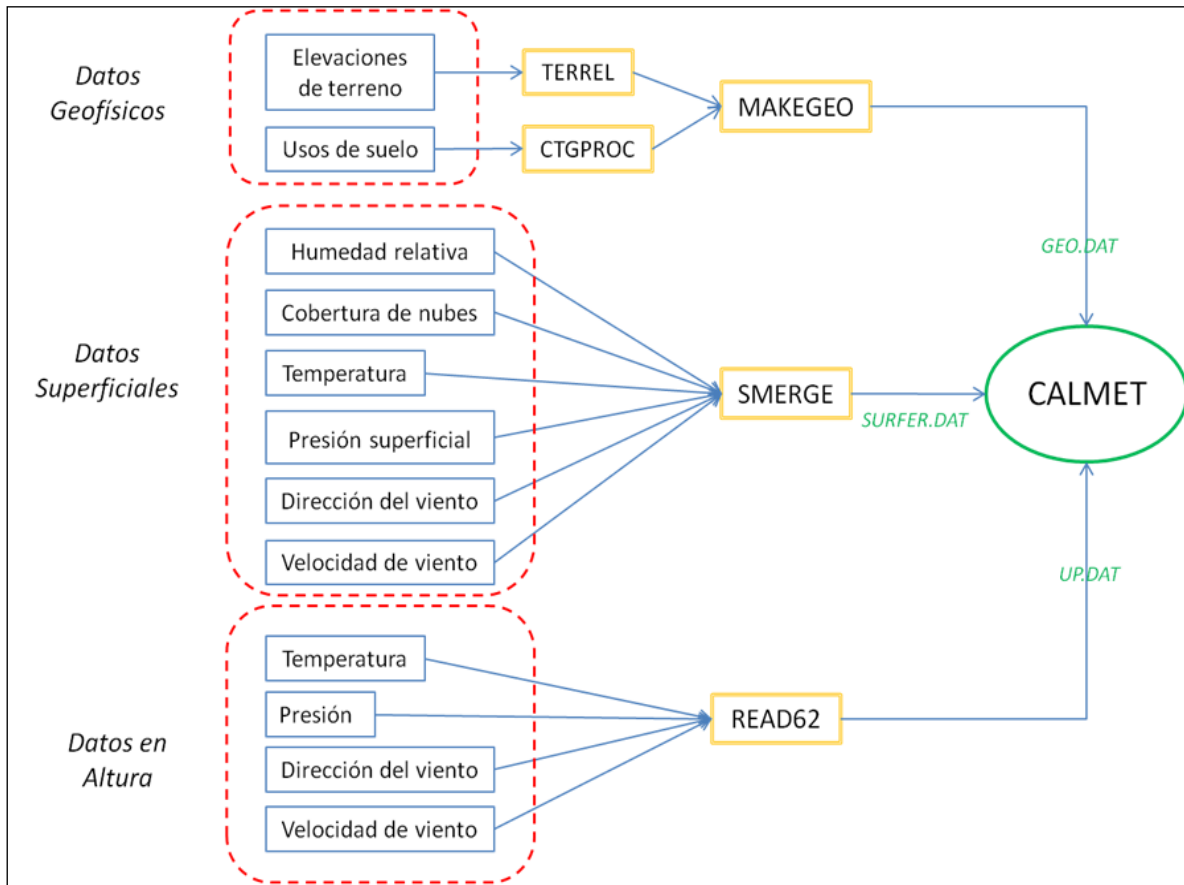


Figura 3.1: Esquema de los datos requeridos por el modelo CALMET y los subprogramas de procesamiento de información.

Fuente: Elaboración propia

CALPUFF: Consiste en un modelo Lagrangiano de dispersión de tipo puff, que permite simular el transporte advectivo y difusivo de una sustancia de interés, para predecir el impacto en la concentración ambiental de esta sustancia (por ejemplo MP10), este modelo requiere de la información meteorológica generada por el modelo CALMET.

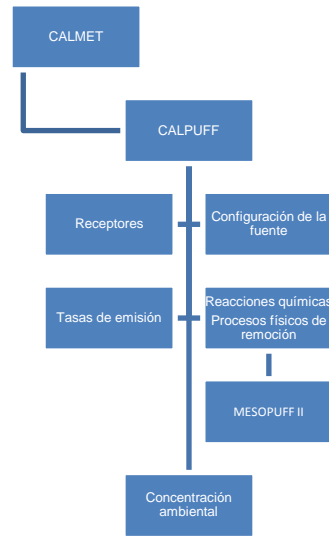


Figura 3.2: Esquema de los datos requeridos por el modelo CALPUFF.

Fuente: Elaboración Propia

3.2 Meteorología de superficie

La información meteorológica para el área de estudio considera los registros de vientos, temperatura, humedad relativa y presión registrados en el año 2006 en las estaciones meteorológicas ubicadas en Rancagua, Codegua, San Francisco de Mostazal, Cauquenes y Casas de Peuco. Se utilizó esta combinación de estaciones para tener una mayor representatividad de las condiciones meteorológicas de la ciudad de Rancagua. En la tabla 3.1, se muestran las variables meteorológicas registradas en cada estación que se utilizó para el análisis.

Estación	Propietario	Este	Norte	altura (m)	Vel. Viento	Dir. viento	Temp	Hum. Rel.	Pres. Atmos	Precip
Rancagua	Ministerio de Salud	339385	6219394	480	X	X	X	X	X	X
Codegua	Colbún S.A.	346716	6233063	550	X	X	X	X		
Cauquenes	Codelco Teniente	356889	6209697	750	X	X				
San Francisco de Mostazal	Colbún S.A.	342567	6238686	475	X	X	X	X		
Casas de Peuco	Colbún S.A.	348550	6241714	575	X	X	X	X		

Tabla 3.1: Variables meteorológicas registradas en las estaciones de superficie ubicadas en el Valle Central de la Región de O'Higgins, año 2006

Fuente: Seremi MMA Región de O'Higgins

Las magnitudes y frecuencia de la dirección de los vientos registrados en las estaciones meteorológicas listadas anteriormente, se muestran gráficamente en las rozas de vientos en el Anexo B.

Para la meteorología de altura, se utilizó una combinación de perfiles verticales de la atmósfera registrados dos veces al día (0z y 12z) en la estación de sondeo ubicada en Santo Domingo y las predicciones del modelo meteorológico WRF (Weather Research and Forecasting Model). WRF es uno de los modelos meteorológicos de pronóstico más avanzados y completos. Es mantenido por NCAR9/NOAA10 de Estados Unidos.

3.3 Dominio de la modelación

El dominio seleccionado para la modelación cubre un área de 20 x 20 km con su origen (vértice inferior izquierdo) en las coordenadas UTM 330,533 km y 6.208,935 km. Este dominio cubre por completo la comuna de Rancagua. La resolución de la grilla para simular la concentración ambiental fue de 200 m (ver figura 3.3).



Figura 3.3: Dominio de la para el modelo CALMET- CALPUFF

Fuente: Elaboración propia en base a imagen de Google Earth

Para efectos del procesamiento de la información meteorológica recopilada para la modelación con CALMET- CALPUFF, se consideraron 9 niveles entre los 0 y 2.400 m de altura, como se muestra en la tabla 3.2.

Nivel	Altura (m)
1	0
2	20
3	40
4	80
5	160
6	320
7	1.000
8	1.500
9	2.400

Tabla 3.2: Niveles considerados para la modelación con CALMET

Fuente: Elaboración propia

3.4 Receptores puntuales

Para efectos de evaluar el impacto en las concentraciones ambientales de material particulado y otros contaminantes se consideraron 17 receptores puntuales localizados dentro del radio urbano de las comunas que se encuentran declaradas saturadas. Para efectos de las comunas de Codegua, Mostazal, Rancagua, Rengo y San Fernando, se consideró la localización de las estaciones de calidad de aire, con el fin de comparar los niveles medidos de material particulado con las predicciones del modelo. La distribución espacial de los receptores en la ciudad de Rancagua se muestra en la figura 3.4.

Receptor No	¹ UTME (m)	¹ UTMN (m)	Altitud (m.s.n.m.)	Observación
1 Est	341.955	6.218.527	512	Actual ubicación de la estación de monitoreo de calidad del aire
2	339.861	6.221.469	478	
3	339.762	6.219.960	488	
4	339.764	6.218.588	501	
5	341.414	6.218.423	511	
6	341.746	6.219.628	505	
7	342.282	6.217.872	521	
8	343.253	6.218.667	521	
9	342.959	6.217.407	530	
10	338.252	6.218.646	489	
11	339.636	6.217.547	510	
12	341.542	6.217.037	525	
13	337.489	6.216.787	502	
14	339.248	6.216.459	513	
15	341.008	6.215.863	529	
16	342.380	6.216.511	535	
17	337.550	6.219.178	483	
18	337.016	6.217.989	489	
19	344.554	6.217.364	537	
20	339.513	6.215.189	528	
21	335.889	6.217.405	488.	

¹Datum WGS84 y el huso 19

Tabla 3.3: Receptores puntuales considerados para la modelación con CALMET – CALPUFF

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.4: Receptores puntuales seleccionado para la modelación con CALMET – CALPUFF en Rancagua

Fuente: Elaboración propia con imagen de Google Earth

3.5 Topografía y uso de suelo

La topografía considerada para la modelación con el sistema CALMET-CALPUFF, utilizó información de elevación de la base de datos internacional de SRTM3 (Shuttle radar Topo Mission) con una resolución de 90 metros. El detalle de la topografía del área de estudio se muestra en las figuras 3.5 y 3.6. Como se puede apreciar, se consideró el dominio de modelación en una superficie mayor que el de la comuna de la ciudad de Rancagua.

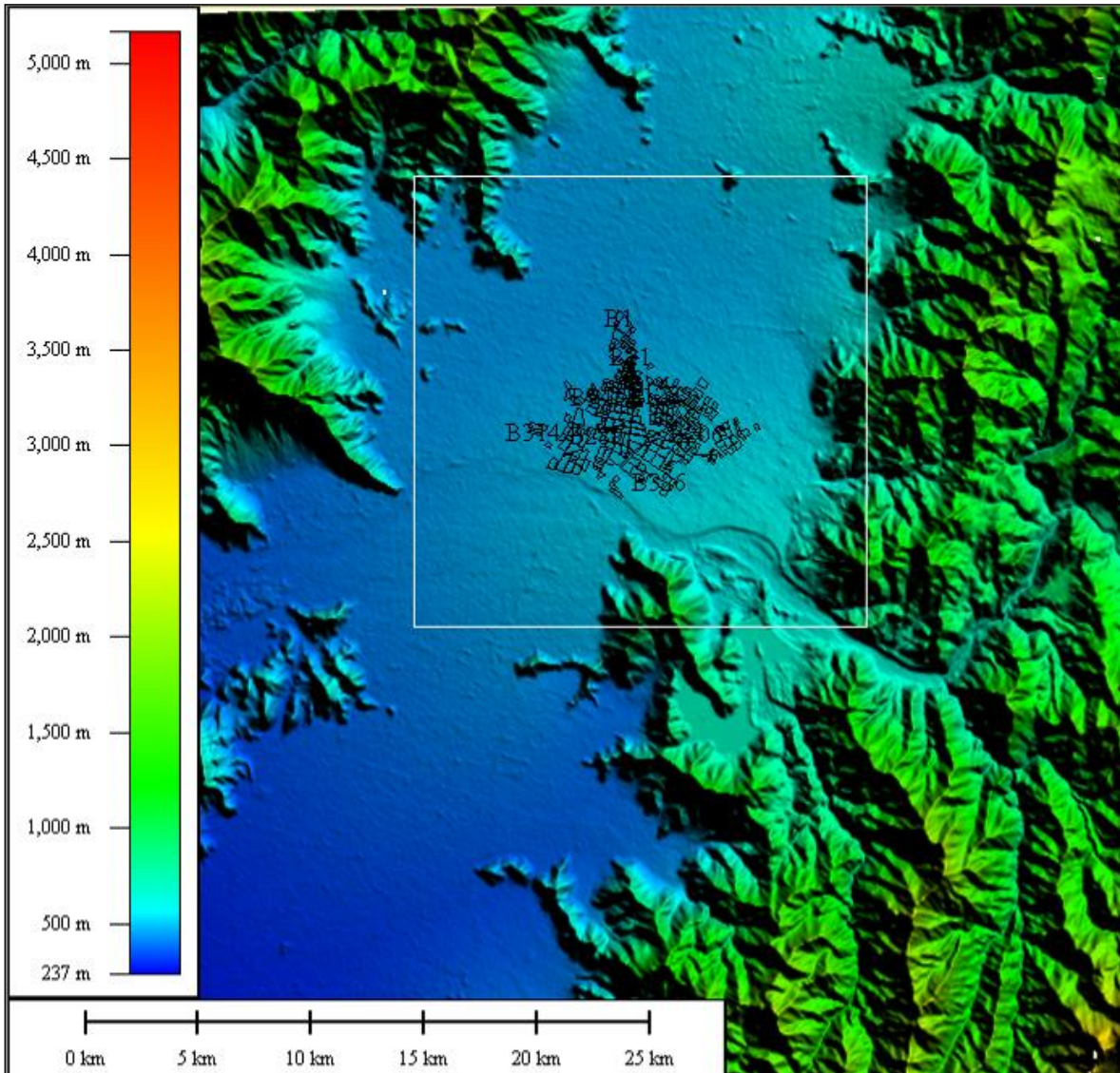


Figura 3.5: Detalle de la topografía para el área de estudio en el Valle Central de la Región de O'Higgins

Fuente: Elaboración propia

Las características del uso de suelo consideradas en la modelación se muestran en la figura 3.6. Esta información fue obtenida de la base de datos internacional de la U.S. Geological Survey (USGS) y se puede apreciar que la mayor parte de la extensión comprendida en el Valle Central de la región se clasifica como suelo agrícola.

Las características del uso de suelo consideradas en la modelación fueron obtenidas de la base de datos internacional de la U.S. Geological Survey (USGS).

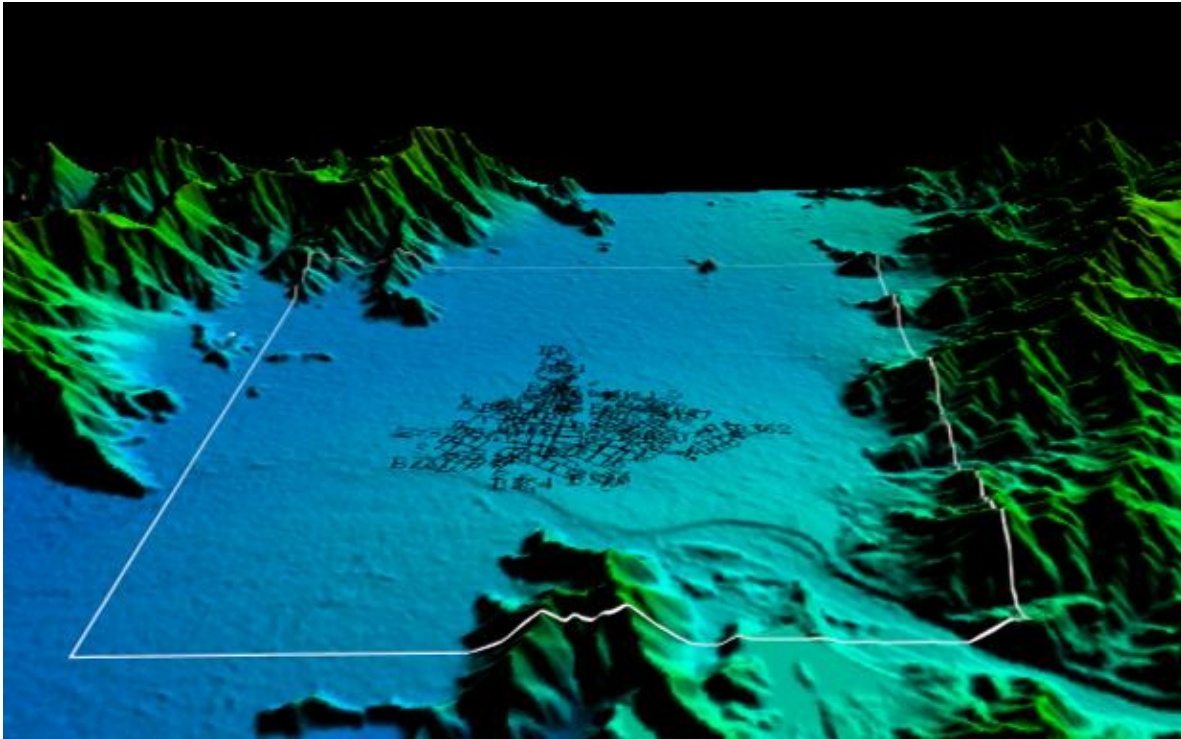


Figura 3.6: Topografía tridimensional para el área de estudio en la ciudad de Rancagua

Fuente: Elaboración propia

3.6 Consideraciones de la aplicación del modelo

Para la modelación de la concentración ambiental de MP10, MP2.5 y otros contaminantes en la ciudad de Rancagua, se consideró sólo las emisiones atmosféricas de futuros proyectos inmobiliarios bajo los dos escenarios de calefacción considerados para el análisis.

3.6.1 Emisiones atmosféricas de los nuevos desarrollos urbanos

La estimación del aporte de material particulado a las concentraciones ambientales observada en los receptores de interés, distribuidos dentro de la ciudad de Rancagua, consideró el aporte de futuros desarrollos inmobiliarios para la ciudad. Éstos se encentrarían ubicados en la periferia de la ciudad, en particular, en el noreste y el suroeste de la ciudad. En la figura 3.7, se muestran la localización y extensión de los futuros proyectos inmobiliarios para la ciudad.



Figura 3.7: Ubicación de los futuros proyectos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua

Fuente: Elaboración propia con imagen de Google Earth

Uno de los aspectos importantes a destacar es que estos proyectos inmobiliarios se estarían localizando principalmente en las zonas de extensión urbana definidas en el Plano Regulador de la Comuna de Rancagua (ver figura 3.8). Por lo tanto, existe espacio para el desarrollo de futuros proyectos inmobiliarios en estas zonas de extensión urbana.

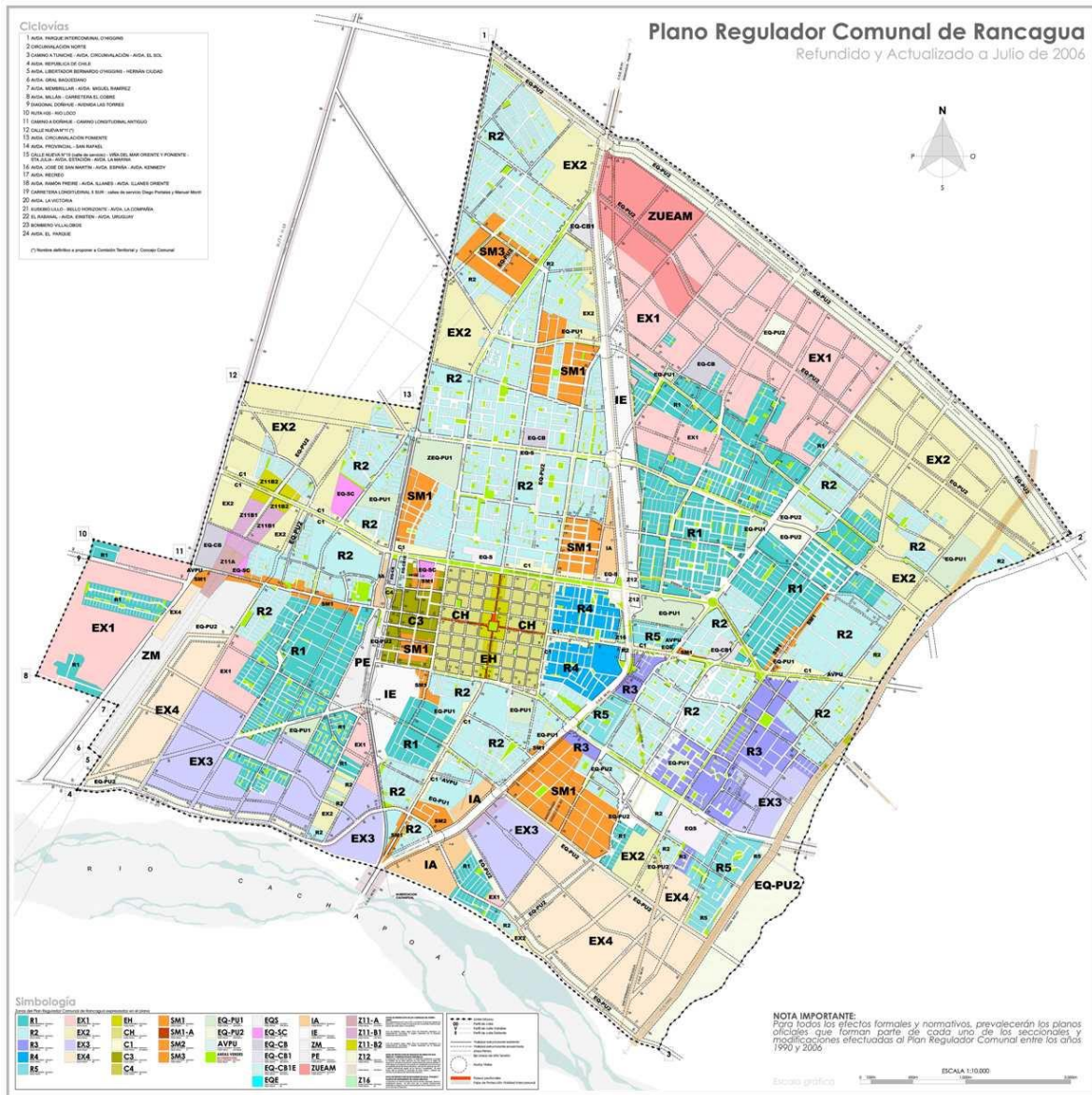


Figura 3.8: Plano Regulador para la Comuna de Rancagua, Región del Libertador Bernardo O'Higgins

Fuente: Ilustre Municipalidad de Rancagua

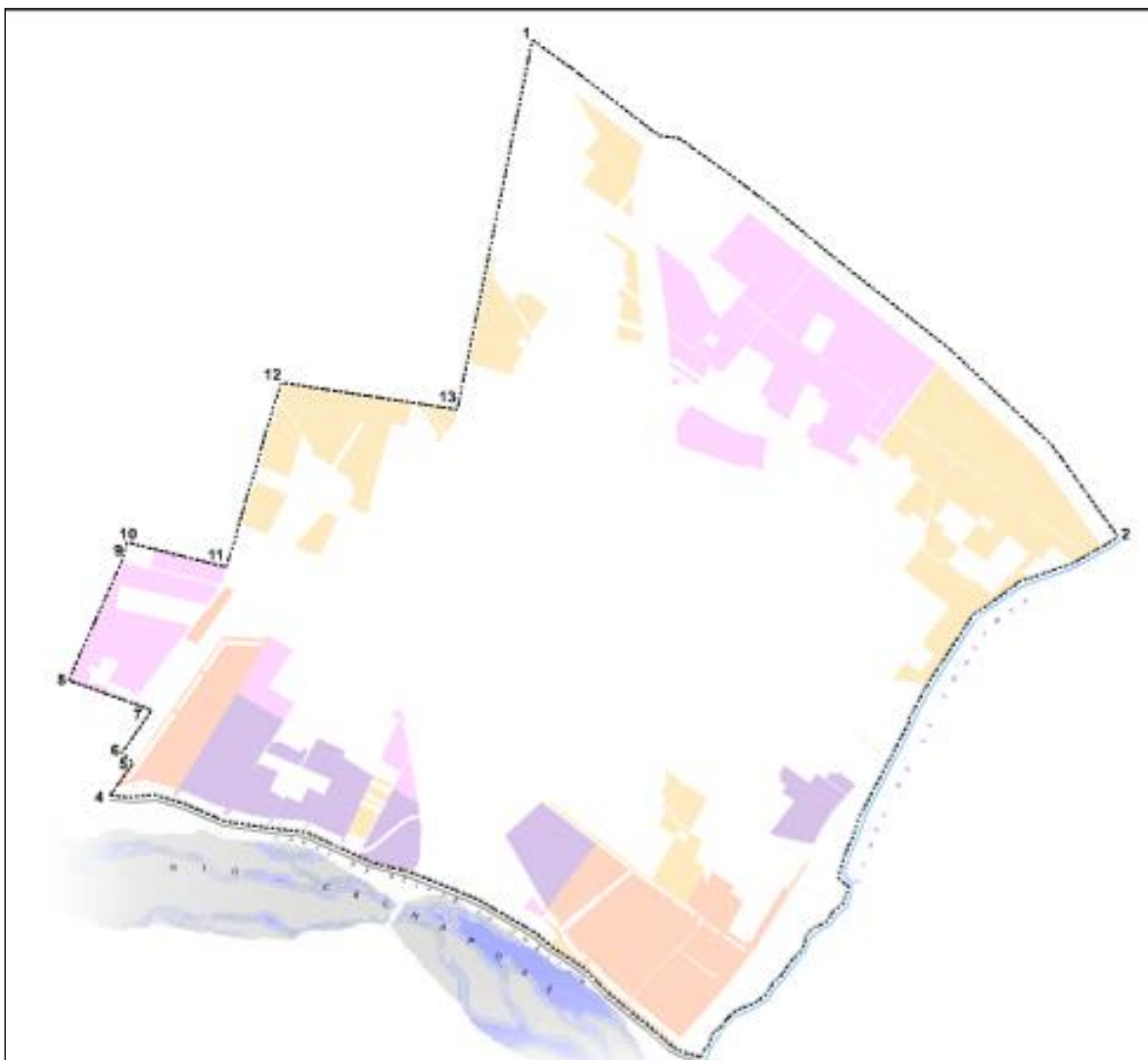


Figura 3.9: Zonas definidas como extensión urbana en el Plano Regulador para la Comuna de Rancagua

Fuente: Ilustre Municipalidad de Rancagua

Considerando las zonas establecidas para el desarrollo de nuevos proyectos habitacionales, en un horizonte de tiempo mayor, se podría esperar que se sigan desarrollando proyectos habitacionales. Esto aumentaría el número de viviendas y, dadas las opciones actuales de calefacción, aumentarían las fuentes de emisión de material particulado y otros contaminantes del aire. En la figura 3.10, se muestra una proyección para un desarrollo progresivo de proyectos inmobiliarios para la ciudad, considerando la ocupación de las zonas definidas como extensión urbana.



Figura 3.10: Proyección hipotética para futuros proyectos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua

Fuente: Elaboración propia con imagen de Google Earth

3.6.2 Simulación de las emisiones atmosféricas de las nuevas viviendas

Para efectos de simulación y distribución de las emisiones de MP y otros contaminantes debido a la combustión de leña para calefacción en las viviendas, las emisiones de contaminantes en las distintas zonas pobladas se distribuyeron como una fuente de área. Para el caso de la simulación de las emisiones atmosféricas de los proyectos de calefacción distrital evaluados en el escenario 2, se consideraron estas emisiones como fuentes puntuales (emisión desde una chimenea).

En el análisis, se evaluaron las concentraciones ambientales de los siguientes contaminantes:

- MP10 (Material Particulado con diámetro aerodinámico $\leq 10 \mu\text{m}$)
- MP2,5 (Material Particulado con diámetro aerodinámico $\leq 2,5 \mu\text{m}$)
- CO (Monóxido de carbono)
- NO_x (Óxidos de nitrógeno)
- COV (Compuestos orgánicos volátiles)
- SO₂ (Dióxido de azufre)

La tecnología de los calefactores a leña y la calidad de la leña no sólo afectan las emisiones de material particulado, sino también las emisiones de monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles. Mientras más deficiente es la tecnología del calefactor, o bien, a mayor contenido de humedad de la leña, mayores son las emisiones de material particulado (MP10 y MP2,5), monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles (COV).

3.6.3 Distribución temporal de las emisiones atmosféricas

Para efectos de la modelación, se consideró la variación estacional y horaria de las emisiones de material particulado y otros contaminantes, considerando la información del estudio “Consultoría Medidas para el Control de la Contaminación por Combustión Residencial de Leña” (EULA, 2010). La distribución estacional del consumo de leña en los hogares se muestra en la figura 2.2, mientras que la intensidad del uso de los artefactos a combustión durante el periodo de invierno se muestra en la figura 3.11.

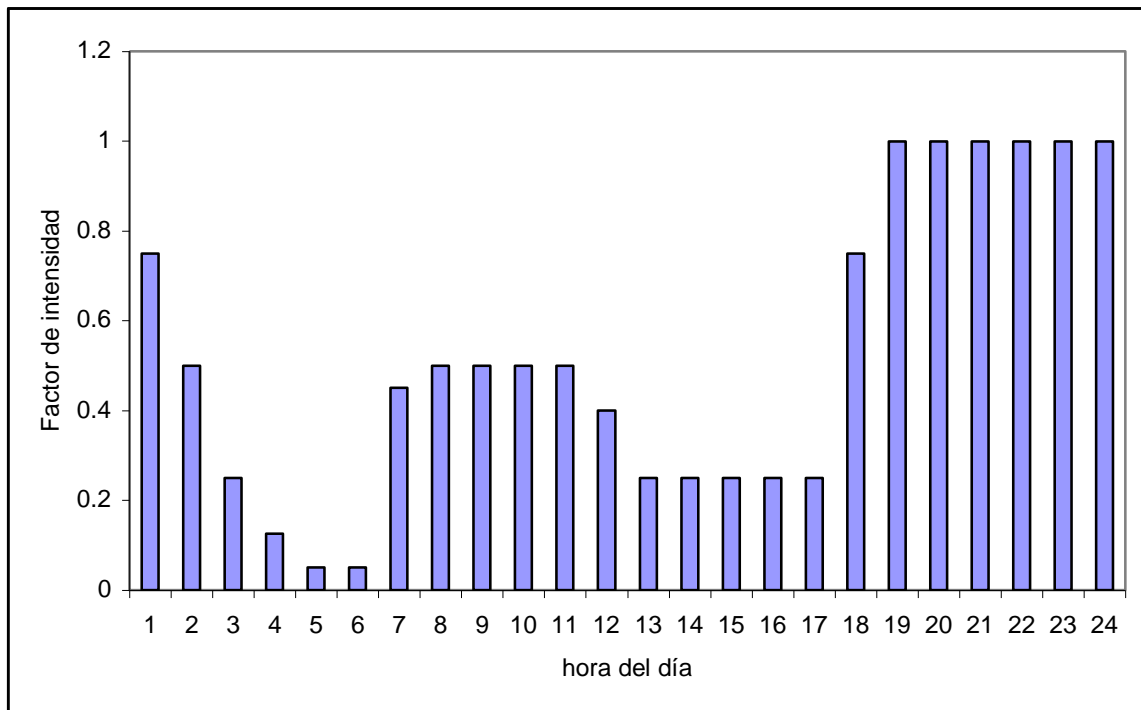


Figura 3.11: intensidad del uso de los artefactos a combustión durante el día durante el invierno

Fuente: EULA (2009)

4 Cuantificación de beneficios directos en salud

Los beneficios sobre la salud de una reducción en la contaminación por material particulado respirable, provienen de una menor probabilidad de mortalidad y menor incidencia de enfermedades de la población afectada. Para la valoración de los beneficios en las enfermedades que afectan la salud, se utilizan los valores reportados en el estudio “Estimación de Beneficios Sociales en Salud Anteproyecto de Revisión de las Normas de Calidad Primaria de Aire Contenidas en la Res N°1215/78 del Ministerio de Salud MINSAL” de Moreira (2000), que a su vez son extraídos de diversos estudios como Cifuentes y Ojeda (1998), Holtz (2000) y Eixhauser (1993). Para la valoración de beneficios de una muerte prematura evitada por la exposición a contaminación extramuros, generada por las concentraciones de material particulado respirable (MP10), se utiliza el valor medio de beneficios del “AGIES de la norma de calidad del aire por MP2.5” (valor medio por vida estadística entre escenario alto de 38.700 UF y bajo de 10.500UF); todo lo anterior se presenta en la siguiente tabla.

Ítem	Valor unitario MM\$ actualizado a 2012
Mortalidad Prematura	254,83
Adm Hosp. Respiratoria	0,48
Adm Hosp. Cardiovascular	0,10
Adm. Hosp. Asma	0,003

Tabla 4.1: Valores unitarios utilizados en la valoración monetaria

Fuente: Citados en Moreira (2000) y AGIES de MP2,5

La población expuesta considerada corresponde a los habitantes de la comuna de Rancagua, que según proyecciones del INE corresponden a 250.638 personas para el año 2012, con una tasa de crecimiento promedio de largo plazo de 0,95%.

La relación Concentración-Respuesta es la función que permite asociar cuantitativamente la concentración de un contaminante atmosférico con la incidencia de un determinado efecto en la salud de la población. Por lo general, las funciones Concentración-Respuesta (C-R) son el resultado de estudios epidemiológicos, cuyo análisis proporciona el valor de la pendiente de la curva C-R, o el riesgo relativo para una variación de la concentración del contaminante. Mientras mayor sea el coeficiente C-R, mayor es el riesgo frente al aumento

en la concentración ambiental de un contaminante del aire, en esta caso, material particulado fino.

Ítem	Coefficiente C-R	Desv. Estándar
Mortalidad Prematura	0,00620 ¹	0,00240
Adm. Hosp. Respiratoria	0,00307	0,00081
Adm. Hosp. Cardiovascular	0,00140	0,00034
Adm. Hosp. Asma	0.00332	0.00105

¹UTILIZADAS POR EL MMA DE DIVERSOS ESTUDIOS INTERNACIONALES

Tabla 4.2: Coeficientes de funciones Concentración-Respuesta

4.1 Tasas de efectos en la salud

La tasa de efectos base de salud proyectados en Rancagua son extraídos de Moreira (2000), autora que utiliza tasas base nacionales cuando existe disponibilidad de datos, pero cuando no existen datos locales, utiliza datos de EE.UU., tanto de la EPA como de estudios originales. Las tasas bases en salud indican el número promedio de casos por muertes o enfermedades por día cada 100.000 habitantes, que ocurren por situaciones no atribuibles a la contaminación.

Ítem	Efectos Base/día por 100.000 p
Mortalidad Prematura	1,2300
Adm. Hosp. Respiratoria	2,0800
Adm. Hosp. Cardiovascular	0,6008
Adm. Hosp. Asma	0,0368

Tabla 4.3: Tasa de efectos base

Fuente: Moreira (2000)

Los efectos base de salud (número de personas por cada 100 mil habitantes) proyectados en Rancagua, se evaluaron desde el año 2014, cuando entra en operación el escenario base (escenario 1) y el escenario alternativo, hasta el año 2025; es decir, la evaluación de los beneficios se realizó en un horizonte de doce años.

¹ Extraído de Pope et al. (2004).

5 Resultados

A continuación, se presentan los resultados de los consumos de leña y tasas de emisión de los contaminantes del aire para cada uno de los escenarios de calefacción de los futuros proyectos habitacionales evaluados para la ciudad de Rancagua.

5.1 Consumo de biomasa y emisiones de contaminantes del aire

5.1.1 Escenario 1

Los resultados de las emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros desarrollos urbanos, considerando la actual tasa de penetración de calefactores a leña en los hogares y la misma tecnología convencional, se muestran en la tabla 5.1. Se estimó que, para el desarrollo de los futuros 20 proyectos inmobiliarios considerados para el análisis, se estaría consumiendo una cantidad adicional de 5.042 ton/año de leña para calefacción de las viviendas. Como consecuencia de la combustión de esta leña en calefactores convencionales, se emitiría un total de 140,6 ton/año de MP10 y 136,6 ton/año de MP2,5. Cabe recordar que, actualmente, la ciudad de Rancagua se encuentra con graves problemas de calidad del aire debido a los elevados niveles ambientales de material particulado respirable (MP10) y fracción fina (MP2,5).

Nombre proyecto	Número viviendas	(ton/año)						
		Consumo de leña	MP10	MP2,5	CO	NOx	COV	SO ₂
F57	253	219,9	6,1	6,0	87,0	0,3	33,2	0,0
F65	295	256,4	7,1	6,9	101,5	0,4	38,7	0,1
F110	357	311,0	8,7	8,4	123,1	0,4	47,0	0,1
F37	106	92,3	2,6	2,5	36,5	0,1	13,9	0,0
Parque Viña Santa Blanca	699	608,1	17,0	16,5	240,7	0,8	91,8	0,1
F1	106	92,5	2,6	2,5	36,6	0,1	14,0	0,0
Galilea F	703	611,8	17,1	16,6	242,1	0,8	92,4	0,1
La Compañía	538	468,1	13,0	12,7	185,3	0,6	70,7	0,1
Condominio Samuel Román	108	94,0	2,6	2,5	37,2	0,1	14,2	0,0
F14	155	134,9	3,8	3,7	53,4	0,2	20,4	0,0
F62	200	173,9	4,8	4,7	68,8	0,2	26,3	0,0
Compañía real III (I-V)	413	359,2	10,0	9,7	142,2	0,5	54,3	0,1
F111	730	635,3	17,7	17,2	251,4	0,9	95,9	0,1
F15	145	126,1	3,5	3,4	49,9	0,2	19,0	0,0
F9	114	99,6	2,8	2,7	39,4	0,1	15,0	0,0
F85	302	263,0	7,3	7,1	104,1	0,4	39,7	0,1
Loteo Puertas de Don Vicente	17	14,8	0,4	0,4	5,9	0,0	2,2	0,0
F86	149	129,8	3,6	3,5	51,4	0,2	19,6	0,0
F13	111	96,4	2,7	2,6	38,2	0,1	14,6	0,0
Doña Sofía I-II-II	293	255,1	7,1	6,9	101,0	0,3	38,5	0,1
Total	5.796	5.042,1	140,6	136,6	1.995,7	6,9	761,5	1,0

Tabla 5.1: Emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros proyectos inmobiliarios bajo Escenario 1 de calefacción en los hogares

Fuente: Elaboración propia

Cabe señalar que si continúan desarrollándose proyectos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua y no existiera una intervención mayor, seguirían aumentando las tasas de emisión de contaminantes del aire, entre ellos el material particulado respirable (MP10) y el fino (MP2,5).

5.1.2 Escenario 2

Los resultados de las emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros desarrollos urbanos, considerando ahora la introducción de sistemas comunitarios de calefacción (calefacción distrital), se muestran en la tabla 5.2. Se estimó que, con la introducción de sistemas de calefacción distrital en los futuros proyectos inmobiliarios evaluados, se estaría consumiendo 9.254 ton/año de biomasa (base seca) para calefacción y agua caliente de las viviendas. Se estimó que las emisiones de las calderas de biomasa con sistemas de filtro de partículas y con una eficiencia de 90%, emitirían, en total, 1,9 ton/año de MP10 y 1,6 ton/año de MP2,5. Esto considera una reducción del 98,6% y 98,8% de emisiones de material particulado respirable (MP10) y fino (MP2,5) al distribuir calor mediante un sistema centralizado y controlado de combustión.

Las emisiones de MP y otro contaminantes podrían aumentar dependiendo de la tasa de operación de los sistemas de calefacción (horas de operación). También podrían variar las emisiones de material particulado y otros contaminantes dependiendo de la calidad del combustible (poder calorífico y humedad), o de la configuración del sistema de control de partículas a implementar para tratar los gases de la caldera principal. Además, estas estimaciones no consideran los procesos de encendido y apagado de la caldera de biomasa. Por lo tanto, las emisiones podrían ser mayores, dependiendo del mecanismo y tiempo en que demore el sistema en entrar en régimen u operación normal.

Nombre proyecto	Número viviendas	(ton/año)						
		Consumo de biomasa	MP10	MP2,5	CO	NOx	COV	SO ₂
F57	253	407,4	0,1	0,1	1,4	1,1	0,0	0,1
F65	295	470,3	0,1	0,1	1,6	1,3	0,0	0,1
F110	357	564,4	0,1	0,1	1,9	1,6	0,1	0,1
F37	106	187,4	0,0	0,0	0,6	0,5	0,0	0,0
Parque Viña Santa Blanca	699	1.006,7	0,2	0,2	3,4	2,8	0,1	0,1
F1	106	187,7	0,0	0,0	0,6	0,5	0,0	0,0
Galilea F	703	1.083,0	0,2	0,2	3,7	3,0	0,1	0,2
La Compañía	538	927,2	0,2	0,2	3,1	2,6	0,1	0,1
Condominio Samuel Román	108	164,5	0,0	0,0	0,6	0,5	0,0	0,0
F14	155	260,9	0,1	0,0	0,9	0,7	0,0	0,0
F62	200	328,0	0,1	0,1	1,1	0,9	0,0	0,0
Compañía real III (I-V)	413	647,5	0,1	0,1	2,2	1,8	0,1	0,1
F111	730	1.123,5	0,2	0,2	3,8	3,1	0,1	0,2
F15	145	245,6	0,1	0,0	0,8	0,7	0,0	0,0
F9	114	200,0	0,0	0,0	0,7	0,6	0,0	0,0
F85	302	481,7	0,1	0,1	1,6	1,3	0,0	0,1
Loteo Puertas de Don Vicente	17	53,8	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0
F86	149	252,0	0,1	0,0	0,9	0,7	0,0	0,0
F13	111	194,5	0,0	0,0	0,7	0,5	0,0	0,0
Doña Sofía I-II-II	293	468,1	0,1	0,1	1,6	1,3	0,0	0,1
Total	5.796	9.254,3	1,9	1,6	31,4	25,7	0,9	1,3

Tabla 5.2: Emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros proyectos inmobiliarios bajo Escenario 2

Fuente: Elaboración Propia

5.2 Impacto en la calidad del aire de las emisiones de los sistemas de calefacción

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación de los impactos en la calidad del aire de las emisiones de los dos escenarios de calefacción considerados para los futuros proyectos inmobiliarios.

5.2.1 Escenario 1

La distribución espacial de las emisiones atmosféricas en el dominio del modelo, se muestra en la figura 5.1. Los polígonos representan las fuentes de emisiones de contaminantes del aire para los nuevos proyectos habitacionales en el modelo de dispersión. El detalle de la distribución de las emisiones atmosféricas se presenta en la tabla 5.3. Cabe recordar que esas emisiones corresponden a la distribución de la suma de todas las emisiones de los calefactores a leña de los hogares, por unidad de superficie del proyecto inmobiliario representando una fuente de área.

Los resultados del aporte de las emisiones de material particulado y otros contaminantes generados por combustión residencial de leña de los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 1 se presentan a continuación. Esto corresponde al aporte a los niveles ambientales en los receptores seleccionados dentro de la comuna de Rancagua (incluye la ubicación de la actual estación de monitoreo de calidad del aire de la ciudad, receptor 21). Las tablas 5.4 y 5.5 muestran el aporte promedio anual y máximo promedio de 24 horas en los distintos receptores para los contaminantes MP10, MP2,5, CO y COV.

Como se puede apreciar, existe un aporte de contaminación significativo por concepto de introducción de calefactores convencionales a leña en los futuros desarrollos urbanos de la ciudad. El aporte varía según el receptor, dependiendo de la ubicación y distancia de éstos en relación los futuros proyectos inmobiliarios que se proyectaron como referencia para la ciudad de Rancagua.

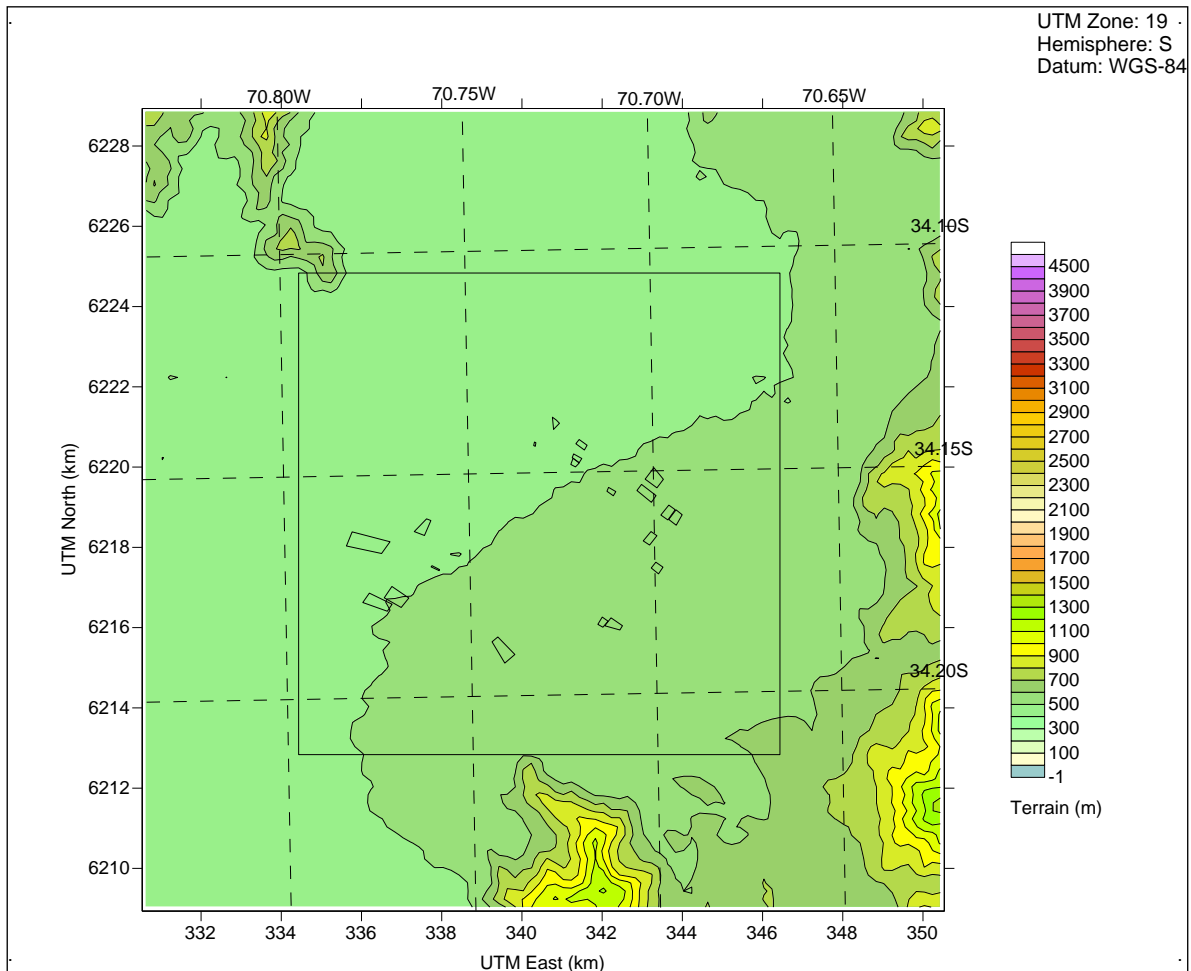


Figura 5.1: Distribución de las emisiones de MP y otro contaminantes dentro del dominio del modelo para las proyecciones de futuros desarrollos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua

Fuente: Elaboración propia

Nombre proyecto	Número viviendas	(ton/m ² /año)					
		MP10	MP2,5	CO	NOx	COV	SO ₂
F57	253	1,1E-04	1,1E-04	1,6E-03	5,4E-06	6,0E-04	7,9E-07
F65	295	1,1E-04	1,1E-04	1,6E-03	5,4E-06	6,0E-04	7,9E-07
F110	357	1,1E-04	1,1E-04	1,6E-03	5,4E-06	6,0E-04	7,9E-07
F37	106	1,1E-04	1,1E-04	1,6E-03	5,4E-06	6,0E-04	7,9E-07
Parque Viña Santa Blanca	699	1,1E-04	1,0E-04	1,5E-03	5,2E-06	5,8E-04	7,6E-07
F1	106	1,1E-04	1,1E-04	1,6E-03	5,4E-06	6,0E-04	7,9E-07
Galilea F	703	1,1E-04	1,1E-04	1,6E-03	5,4E-06	6,0E-04	7,9E-07
La Compañía	538	1,1E-04	1,1E-04	1,6E-03	5,6E-06	6,2E-04	8,2E-07
Condominio Samuel Román	108	3,6E-04	3,5E-04	5,2E-03	1,8E-05	2,0E-03	2,6E-06
F14	155	1,1E-04	1,1E-04	1,6E-03	5,4E-06	6,0E-04	7,9E-07
F62	200	1,1E-04	1,1E-04	1,6E-03	5,4E-06	6,0E-04	7,9E-07
Compañía real III (I-V)	413	1,1E-04	1,1E-04	1,6E-03	5,4E-06	6,0E-04	7,9E-07
F111	730	1,1E-04	1,1E-04	1,6E-03	5,4E-06	6,0E-04	7,9E-07
F15	145	1,1E-04	1,1E-04	1,6E-03	5,4E-06	6,0E-04	7,9E-07
F9	114	1,1E-04	1,1E-04	1,6E-03	5,4E-06	6,0E-04	7,9E-07
F85	302	1,1E-04	1,1E-04	1,6E-03	5,4E-06	6,0E-04	7,9E-07
Loteo Puertas de Don Vicente	17	1,1E-04	1,1E-04	1,6E-03	5,4E-06	6,0E-04	7,9E-07
F86	149	1,1E-04	1,1E-04	1,6E-03	5,4E-06	6,0E-04	7,9E-07
F13	111	1,1E-04	1,1E-04	1,6E-03	5,4E-06	6,0E-04	7,9E-07
Doña Sofía I-II-II	293	1,1E-04	1,1E-04	1,6E-03	5,4E-06	6,0E-04	7,9E-07

Tabla 5.3: Distribución de las emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 1.

Fuente: Elaboración Propia

Receptor	Aporte a la concentración ambiental de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Aporte a la concentración ambiental de MP2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	Max promedio diario	Promedio anual	Max promedio diario	Promedio anual
1 Est	14,8	2,0	14,4	2,0
2	9,5	1,2	9,2	1,2
3	8,1	1,3	7,9	1,2
4	8,5	1,2	8,3	1,2
5	10,2	1,5	9,9	1,5
6	16,7	2,4	16,2	2,3
7	15,1	2,1	14,7	2,0
8	32,1	6,5	31,2	6,3
9	18,6	2,4	18,1	2,3
10	14,1	1,6	13,8	1,6
11	9,1	1,4	8,9	1,4
12	8,5	1,5	8,3	1,5
13	17,1	1,6	16,7	1,6
14	11,4	2,0	11,1	1,9
15	9,5	1,0	9,2	1,0
16	22,5	3,5	21,9	3,4
17	19,1	3,8	18,5	3,7
18	22,7	4,4	22,0	4,3
19	4,6	0,3	4,5	0,2
20	34,3	4,7	33,4	4,5
21	25,7	4,5	25,0	4,4
Promedio	15,8	2,4	15,4	2,4

Tabla 5.4: Resultados de la simulación del aporte de MP10 y MP2,5 de los futuros proyectos inmobiliarios evaluados a los receptores ubicados dentro de la ciudad de Rancagua bajo el Escenario 1.

Fuente: Elaboración propia

Receptor	Aporte a la concentración ambiental de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Aporte a la concentración ambiental de COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	Max promedio diario	Promedio anual	Max promedio diario	Promedio anual
1 Est	210,3	29,0	80,4	11,1
2	134,3	17,2	51,3	6,6
3	115,3	17,8	44,1	6,8
4	120,3	17,5	46,0	6,7
5	145,1	21,3	55,5	8,2
6	236,7	34,1	90,5	13,1
7	214,6	29,8	82,1	11,4
8	454,9	91,5	174,1	35,0
9	263,8	33,9	101,0	13,0
10	200,6	22,6	76,7	8,6
11	129,0	19,9	49,3	7,6
12	120,6	21,8	46,1	8,4
13	242,8	23,3	92,9	8,9
14	160,7	27,9	61,4	10,7
15	134,7	14,2	51,5	5,4
16	319,4	49,6	122,2	19,0
17	270,3	54,0	103,4	20,7
18	321,4	62,8	123,0	24,0
19	65,6	3,6	25,1	1,4
20	484,8	65,9	185,3	25,2
21	364,2	63,9	139,4	24,5
Promedio	224,3	34,4	85,8	13,1

Tabla 5.5: Resultados de la simulación del aporte de CO y COV de los futuros proyectos inmobiliarios evaluados a los receptores ubicados dentro de la ciudad de Rancagua bajo el Escenario 1.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se puede representar gráficamente los aportes de MP10 y MP2.5 de los futuros proyectos inmobiliarios a los niveles ambientales de este contaminante en la ciudad de Rancagua. En las figuras siguientes, se puede apreciar que las emisiones de los proyectos inmobiliarios en la periferia de la ciudad también afectan la calidad del aire de la zona central de la ciudad, en particular para el promedio de 24 horas y el promedio anual de MP10 y MP2,5. Esto implica que los episodios donde se registran los mayores niveles de concentración de material particulado (MP10 y MP2,5) debido a la intensidad del uso de los calefactores a leña y la menor capacidad de ventilación de la atmósfera, empeorarían si continúa creciendo el parque de calefactores a leña en la ciudad de Rancagua, debido al desarrollo de nuevos proyectos inmobiliarios.

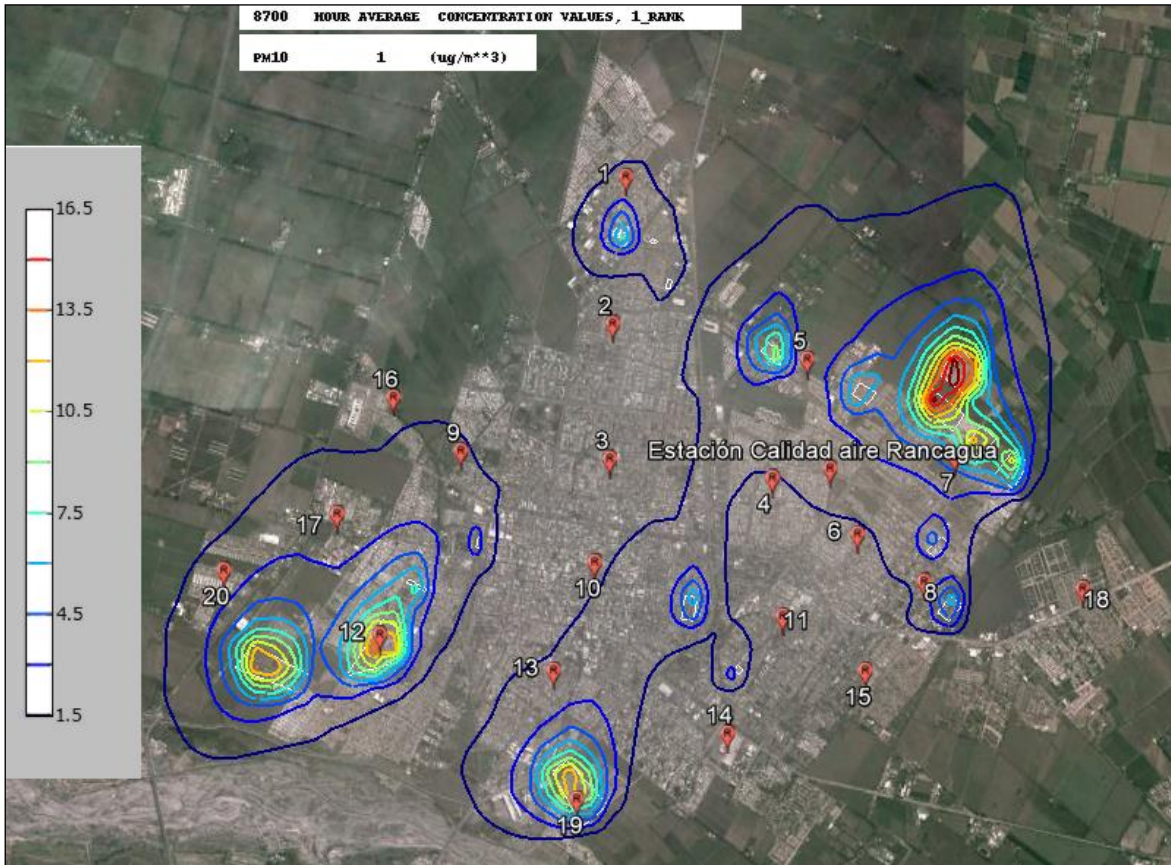


Figura 5.2: Distribución del aporte promedio anual a la concentración ambiental de MP10 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Rancagua bajo el Escenario 1.

Fuente: Elaboración propia

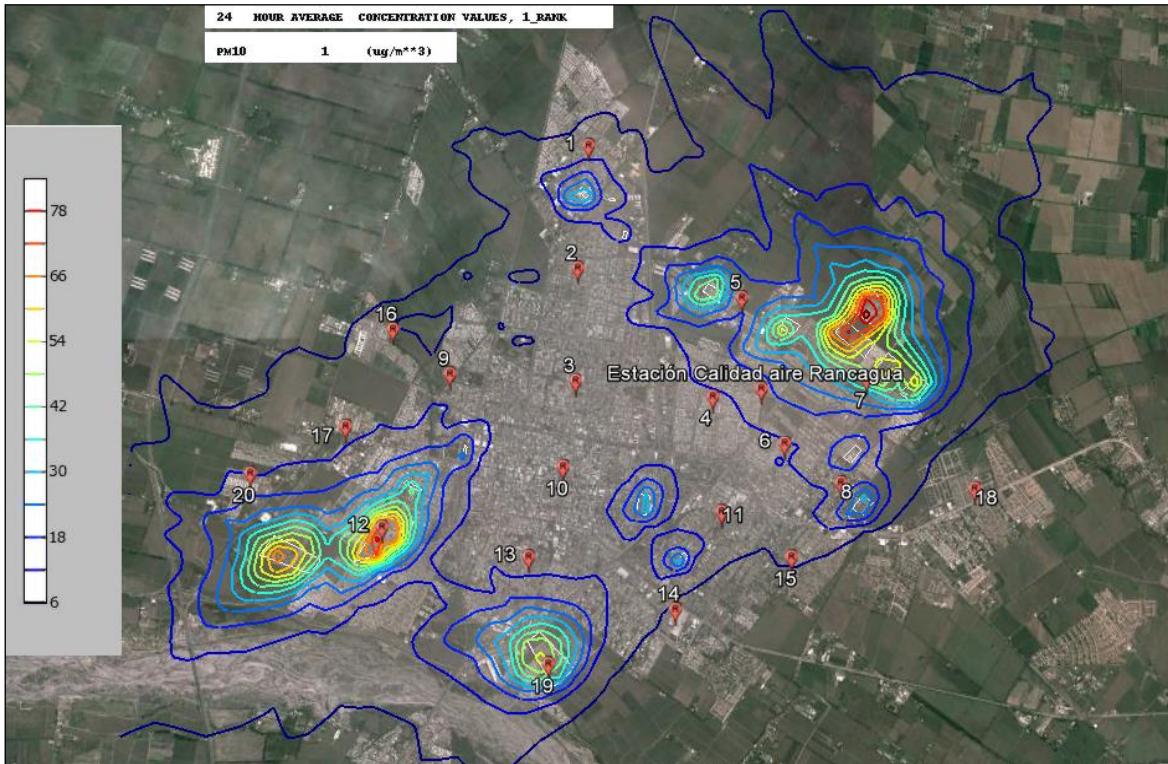


Figura 5.3: Distribución del aporte promedio máximo de 24 horas a la concentración ambiental de MP10 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Rancagua bajo el Escenario 1.

Fuente: Elaboración propia

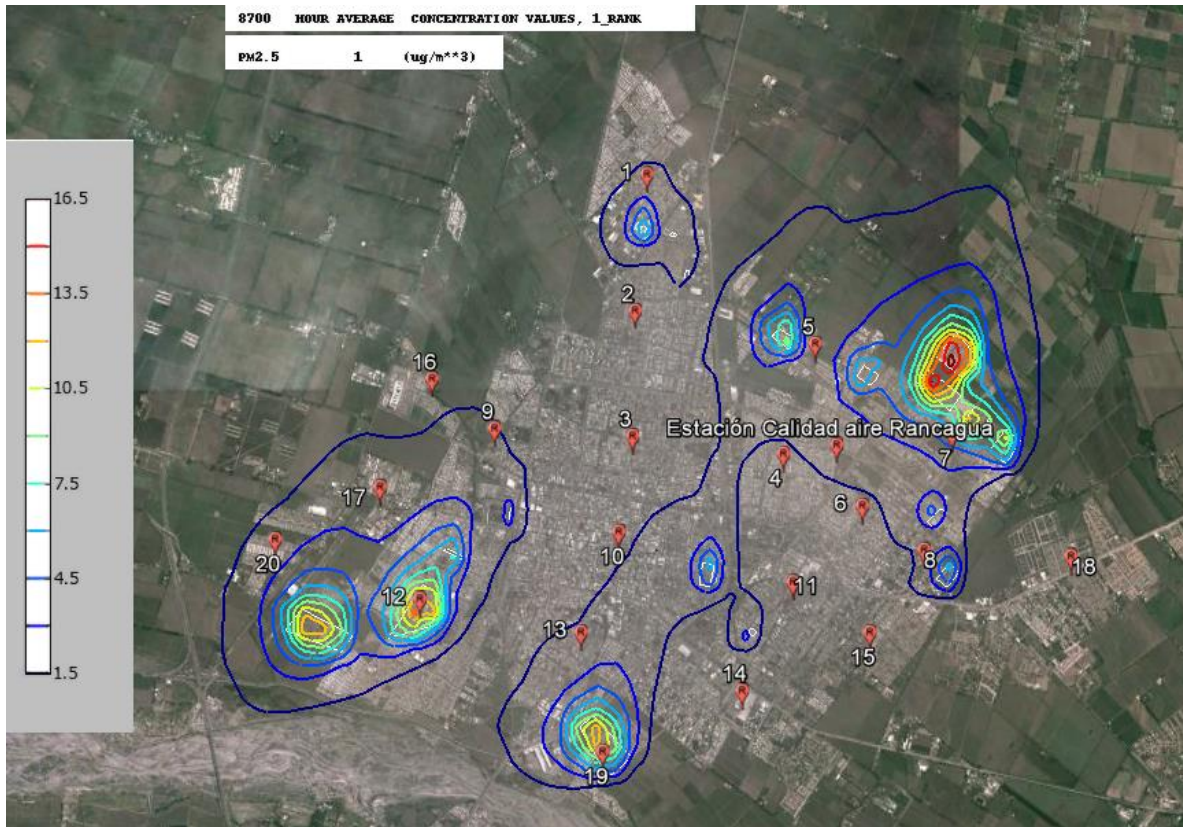


Figura 5.4: Distribución del aporte promedio máximo anual a la concentración ambiental de MP2.5 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Rancagua bajo el Escenario 1.

Fuente: Elaboración propia

La evolución temporal del aporte promedio diario de MP10 a los niveles ambientales de este contaminante en uno de los receptores (receptor 8) localizados en la ciudad de Rancagua, se muestra en la figura 5.5. Se puede apreciar que el aporte a los niveles ambientales de MP10 es mayor en los meses de invierno, debido a las mayores tasas de emisión de este contaminante del aire y las menores tasas de ventilación de la atmósfera en estos meses.

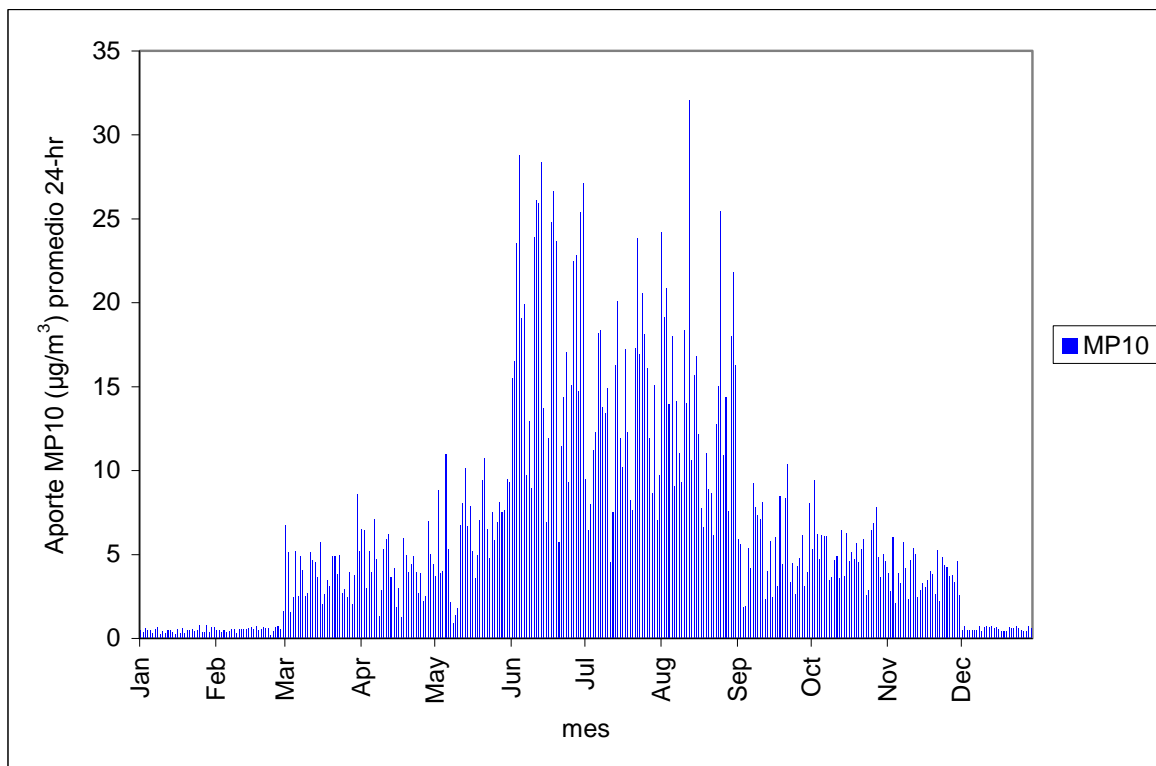


Figura 5.5: Variación estacional del aporte promedio diario de MP10 de las emisiones atmosféricas de los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 1

Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Escenario 2

La distribución espacial de las emisiones atmosféricas en el dominio del modelo se muestra en la figura 5.6. En ella, se representan en el modelo de dispersión las fuentes puntuales correspondientes a las centrales térmicas que distribuirían calor a los nuevos proyectos habitacionales. El detalle de las emisiones atmosféricas de los proyectos de calefacción distrital se presenta en la tabla 5.6. Estas emisiones corresponden a las tasas de emisión de los sistemas de calefacción distrital que abastecerían calor a los de los hogares a los hogares dentro de los futuros proyectos inmobiliarios a desarrollarse en la ciudad de Rancagua.

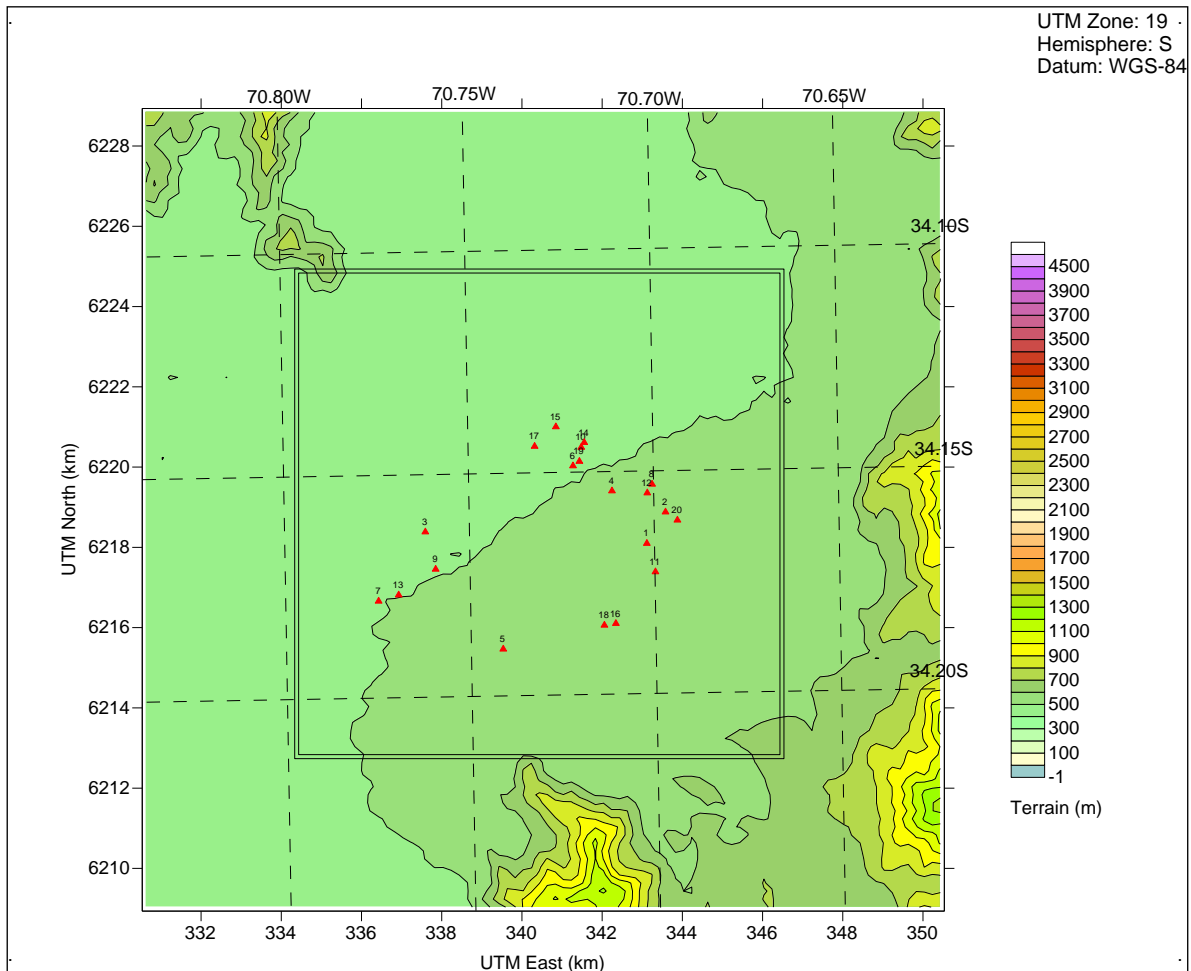


Figura 5.6: Distribución de las emisiones de MP y otro contaminantes dentro del dominio del modelo para las proyecciones de futuros desarrollos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua

Fuente: Elaboración propia

Las tasas de emisiones de material particulado y otros contaminantes emitidos por los sistemas de calefacción distrital que entregarían calor a los futuros proyectos inmobiliarios, se presentan a continuación. Esta información se utilizó para estimar el aporte de las emisiones de los sistemas de calefacción a los niveles ambientales de los contaminantes evaluados en los receptores seleccionados dentro de la comuna de Rancagua.

Nombre proyecto	Número viviendas	Tasa de emisión (kg/hr)					
		MP10	MP2,5	NOx	SO2	COV	CO
F57	253	0,09	0,07	1,18	0,06	0,04	1,45
F65	295	0,10	0,09	1,38	0,07	0,05	1,69
F110	357	0,12	0,11	1,67	0,09	0,06	2,05
F37	106	0,04	0,03	0,49	0,03	0,02	0,60
Parque Viña Santa Blanca	699	0,22	0,19	3,04	0,16	0,11	3,72
F1	106	0,04	0,03	0,49	0,03	0,02	0,61
Galilea F	703	0,24	0,21	3,29	0,17	0,11	4,03
La Compañía	538	0,21	0,18	2,84	0,14	0,10	3,47
Condominio Samuel Román	108	0,03	0,03	0,42	0,02	0,01	0,51
F14	155	0,05	0,05	0,72	0,04	0,03	0,89
F62	200	0,07	0,06	0,93	0,05	0,03	1,14
Compañía real III (I-V)	413	0,14	0,12	1,93	0,10	0,07	2,37
F111	730	0,25	0,22	3,42	0,17	0,12	4,19
F15	145	0,05	0,04	0,68	0,03	0,02	0,83
F9	114	0,04	0,03	0,53	0,03	0,02	0,65
F85	302	0,10	0,09	1,41	0,07	0,05	1,73
Loteo Puertas de Don Vicente	17	0,01	0,00	0,08	0,00	0,00	0,09
F86	149	0,05	0,04	0,70	0,04	0,02	0,85
F13	111	0,04	0,03	0,52	0,03	0,02	0,63
Doña Sofía I-II-II	293	0,10	0,09	1,37	0,07	0,05	1,68

Tabla 5.6: Tasas de emisión de contaminantes atmosféricos proyectadas para los sistemas de distribución de calor de los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 2

Fuente: Elaboración propia

Las tablas 5.7 y 5.8 muestran el resumen del aporte de las emisiones al promedio anual y máximo promedio de 24 horas en los distintos receptores para los contaminantes MP10, MP2,5, CO y COV. Esto representa el impacto en la calidad del aire que generan las emisiones de los sistemas de calefacción comunitarios a desarrollar en los futuros proyectos inmobiliarios. En estas tablas, también se presenta el porcentaje de reducción del impacto de estas emisiones en comparación al Escenario 1, o escenario base.

Receptor	Aporte a la concentración ambiental de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Aporte a la concentración ambiental de MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	Max promedio diario	Promedio anual	% Reducción (Esc 1)	Max promedio diario	Promedio anual	% Reducción (Esc 1)
1 Est	0,59	0,05		0,50	0,04	
2	0,27	0,03		0,23	0,03	
3	0,25	0,04		0,21	0,03	
4	0,25	0,03		0,21	0,03	
5	0,57	0,05		0,48	0,04	
6	0,52	0,06		0,43	0,05	
7	0,54	0,05		0,46	0,04	
8	0,92	0,11		0,80	0,09	
9	0,57	0,06		0,47	0,05	
10	0,33	0,04		0,29	0,04	
11	0,29	0,03		0,25	0,03	
12	0,32	0,04		0,26	0,03	
13	0,35	0,04		0,30	0,03	
14	0,24	0,03		0,19	0,02	
15	0,30	0,03		0,22	0,02	
16	0,43	0,07		0,31	0,04	
17	0,31	0,04		0,28	0,03	
18	0,47	0,05		0,42	0,05	
19	0,24	0,01		0,20	0,01	
20	0,83	0,05		0,71	0,04	
21	0,33	0,03		0,28	0,02	
Promedio	0,42	0,04	97%	0,36	0,04	98%

Tabla 5.7: Resultados de la simulación del aporte de MP10 y MP2,5 de los futuros proyectos inmobiliarios a los receptores ubicados dentro de la ciudad de Rancagua bajo el Escenario 2

Fuente: Elaboración propia

Receptor	Aporte a la concentración ambiental de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Aporte a la concentración ambiental de COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	Max promedio 24 hrs	Promedio anual	% Reducción (Esc 1)	Max promedio 24 hrs	Promedio anual	% Reducción (Esc 1)
1 Est	9,8	0,9	97%	0,29	0,02	99%
2	4,5	0,5		0,13	0,01	
3	4,2	0,6		0,12	0,02	
4	4,1	0,6		0,12	0,02	
5	9,5	0,9		0,28	0,03	
6	8,5	0,9		0,26	0,03	
7	9,0	0,8		0,26	0,02	
8	15,4	1,8		0,45	0,05	
9	9,3	0,9		0,26	0,03	
10	5,5	0,7		0,16	0,02	
11	4,9	0,5		0,14	0,02	
12	5,3	0,6		0,15	0,02	
13	5,8	0,6		0,16	0,02	
14	3,9	0,5		0,11	0,01	
15	5,0	0,5		0,14	0,01	
16	7,3	1,2		0,20	0,03	
17	5,2	0,6		0,15	0,02	
18	7,9	0,9		0,23	0,03	
19	4,1	0,2		0,11	0,01	
20	14,1	0,9		0,41	0,03	
21	5,4	0,5		0,15	0,01	
Promedio	7,1	0,7		0,20	0,02	

Tabla 5.8: Resultados de la simulación del aporte de CO y COVs de los futuros proyectos inmobiliarios a los receptores ubicados dentro de la ciudad de Rancagua bajo el Escenario 2

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar, existe una reducción importante en el aporte de contaminación por concepto de introducción de sistemas de calefacción distrital en los futuros desarrollos urbanos de la ciudad. El aporte varía según el receptor, dependiendo de la ubicación y distancia de éstos en función de la ubicación de los nuevos proyectos inmobiliarios que se podrían desarrollar en la ciudad.

Se observó una reducción importante entre el aporte de contaminantes de este escenario de calefacción y la condición base (escenario 1), con un 97% y 98% de reducción para MP10 y MP2,5 y un 97% para CO y un 99% de reducción para los COV. La representación gráfica de los aportes de los sistemas de calefacción distrital a los niveles ambientales de MP10 y MP2.5 en la ciudad de Rancagua, se muestra en las figuras 5.7 a la 5.9. Se puede

apreciar que el aporte promedio anual y el máximo aporte diario de MP10 y MP2,5 es significativamente más bajo, incluso durante los meses de invierno, donde se registran los mayores niveles de concentración de estos contaminantes, debido a la mayor intensidad en el uso de la calefacción y la menor capacidad de ventilación de la atmosfera.

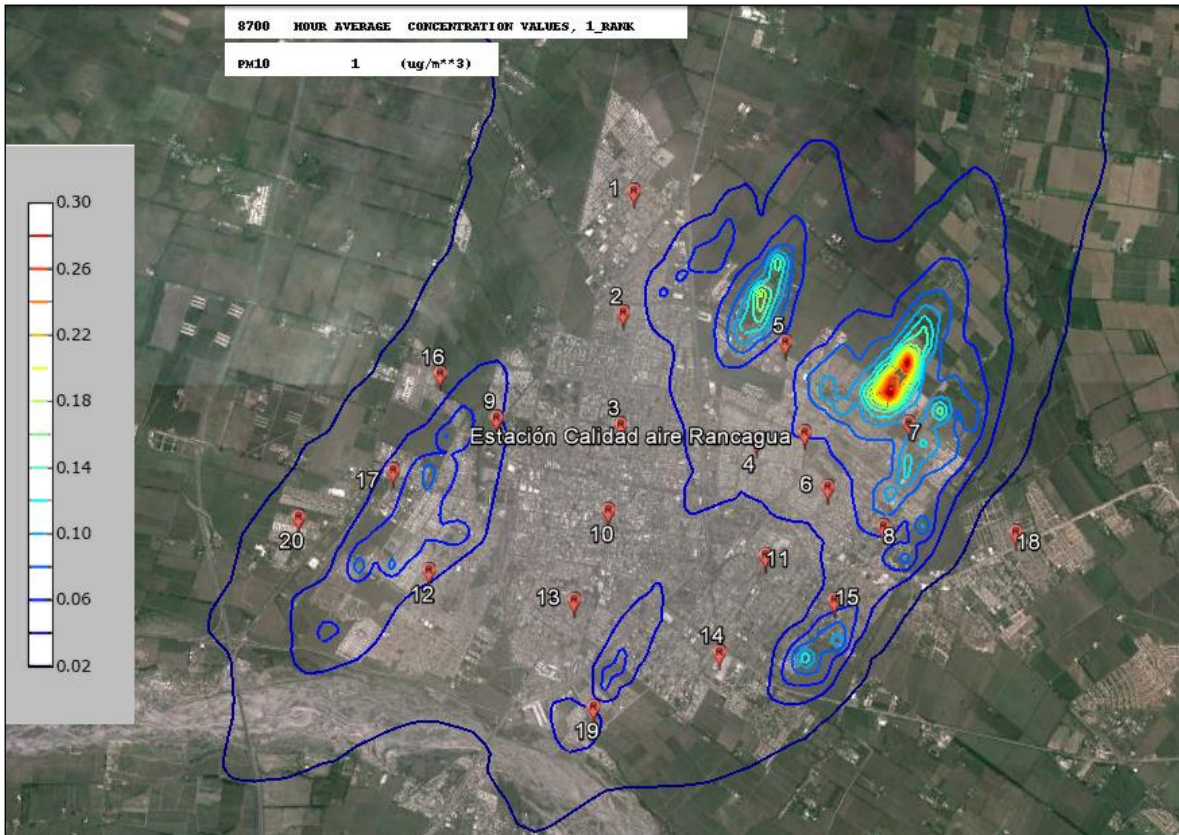


Figura 5.7: Distribución del aporte promedio anual a la concentración ambiental de MP10 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Rancagua bajo el Escenario 2

Fuente: Elaboración propia

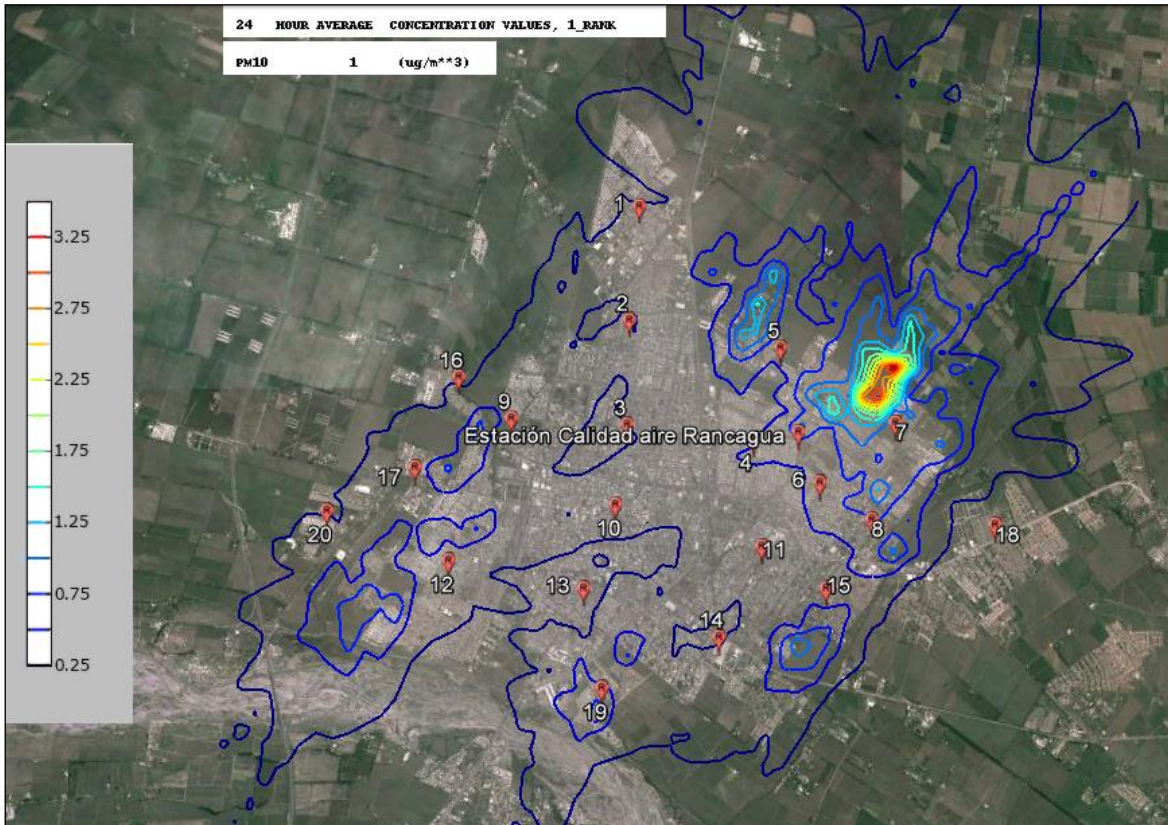


Figura 5.8: Distribución del aporte promedio máximo de 24 hr a la concentración ambiental de MP10 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Rancagua bajo el Escenario 2

Fuente: Elaboración propia

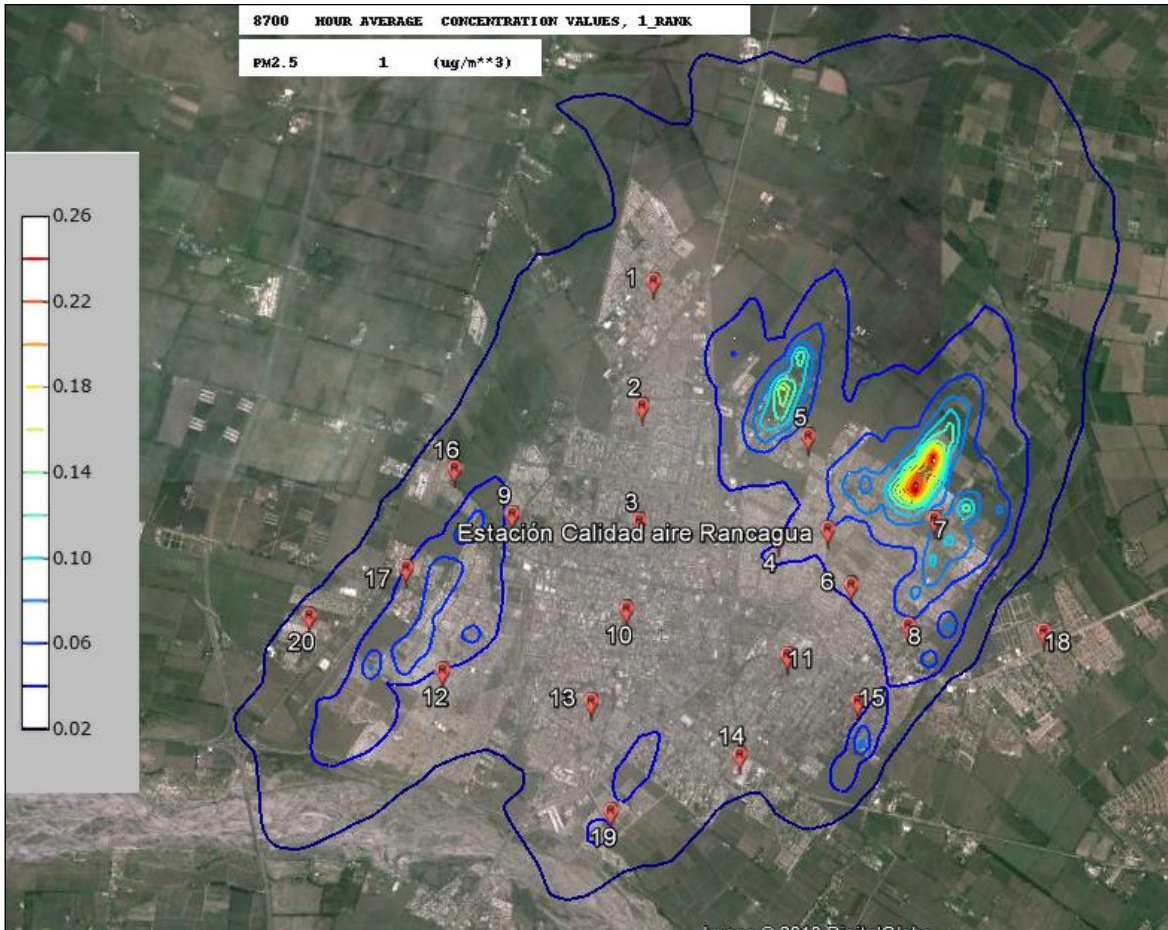


Figura 5.9: Distribución del aporte promedio máximo anual a la concentración ambiental de MP2,5 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Rancagua bajo el Escenario 2

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la evolución temporal del aporte promedio diario de MP10 a los niveles ambientales de este contaminante en la ciudad de Rancagua (receptor 8) se muestra en la figura 5.10. En ella, también se puede apreciar que el aporte de MP10 aumenta en los meses de invierno, debido a la mayor utilización de la calefacción y las menores tasas de ventilación de los meses invernales. Sin embargo, este aporte es considerablemente menor al de los niveles ambientales de MP10 aportados por el escenario base.

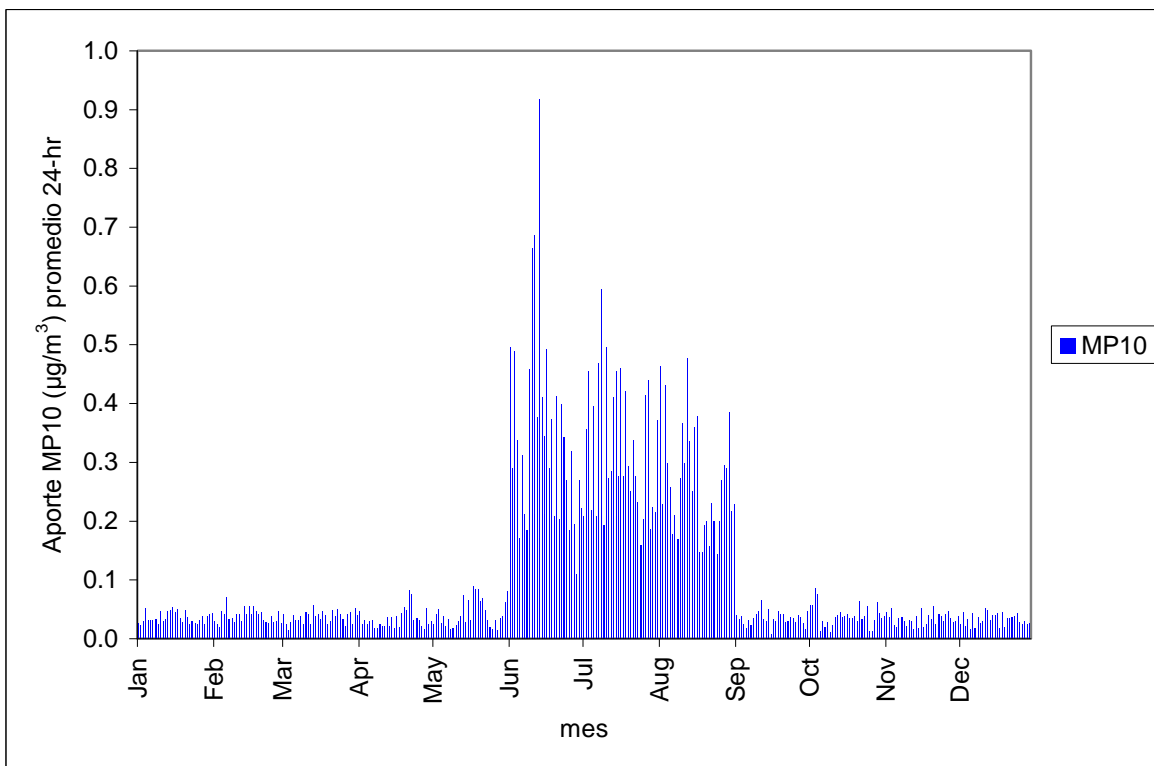


Figura 5.10: Variación estacional del aporte promedio diario de MP10 de las emisiones atmosféricas de los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 2

Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Beneficios Directos en Salud por la Reducción de la Concentración Ambiental de Material Particulado

La reducción de las emisiones de MP10 y su efecto en los niveles ambientales de este contaminante en el aire, fue utilizado como base para estimar los beneficios económicos de la alternativa de desarrollo de nuevos proyectos inmobiliarios bajo el escenario 2.

Bajo el escenario base (Escenario 1) de desarrollo de nuevas casas en Rancagua sin medidas tecnológicas de reducción de emisiones, podría incrementar el promedio anual de las concentraciones ambientales de MP10 en $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Con la alternativa de calefacción distrital (Escenario 2), se podrían reducir en un 97% el aporte del escenario base que representa la condición sin intervención.

El escenario 2, evaluado en el informe para reducir el potencial aporte de las emisiones de los futuros proyectos inmobiliarios a las concentraciones ambientales de material particulado en la ciudad de Rancagua, a su vez, se traduce en una disminución del número de casos en la morbilidad y mortalidad al aplicar las funciones concentración-respuesta a la población expuesta de Rancagua. La estimación de efectos en la salud producto de la reducción en la contaminación atmosférica, utiliza información sobre la población expuesta y las tasas bases para cada tipo de impacto en salud donde el valor de un caso evitado para morbilidad y mortalidad es extrapolado al total de la población de la zona saturada.

Para estimar los beneficios sociales de los efectos en salud, se utilizó el método de la función de daño. La reducción de las emisiones de MP10 a través de las distintas medidas presentadas en este informe, se modelaron con CALPUFF para obtener los efectos marginales en las concentraciones de MP10. Los beneficios totales para la salud fueron actualizados mediante la variación del IPC hasta el año 2012. La información base que se origina del Escenario 1 de calefacción se muestra en la tabla a continuación.

Resumen Beneficios Medida Cambio Equipos MM\$	Año											
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidad Prematura	605	1222	1850	2489	3139	3800	4472	5157	5855	5744	5796	6683
Adm Hosp. Respiratoria	1,1	2,2	3,3	4,4	5,6	6,8	8,0	9,2	10,5	10,3	10,4	11,9
Adm Hosp. Cardiovascular	0,3	0,7	1,1	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,3	3,3	3,8
Adm. Hosp. Asma	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Total	606	1225	1854	2495	3146	3809	4483	5170	5869	5757	5809	6699

Tabla 5.9: Efectos base para Rancagua (millones de pesos, MM\$ año 2012)

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5.10, se presenta el resumen de los beneficios totales para la salud, los que fueron actualizados mediante la variación del IPC hasta el año 2012, para el Escenario 2 de calefacción distrital.

Resumen Beneficios Medida Calefacción Distrital MM\$	Año											
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidad Prematura	941	1901	2878	3872	4883	5912	6957	8023	9107	8934	9015	10397
Adm Hosp. Respiratoria	1,7	3,4	5,1	6,9	8,7	10,6	12,4	14,3	16,3	16,0	16,1	18,6
Adm Hosp. Cardiovascular	0,5	1,1	1,7	2,2	2,8	3,4	4,0	4,6	5,2	5,1	5,2	6,0
Adm. Hosp. Asma	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Total	943	1905	2885	3881	4895	5926	6973	8042	9129	8956	9037	10421

Tabla 5.10: Cálculo de beneficios totales para la salud escenario 2 con calefacción distrital (millones de pesos, MM\$ año 2012)

Fuente: Elaboración propia

La evaluación económica, desde una perspectiva social de las medidas analizadas, se realiza con el indicador de VAN social. Esta metodología ajusta los precios privados a precios sociales (o precios sombra) a través de factores de ajuste estimados por MIDEPLAN, como por ejemplo, a través de la utilización de la tasa de descuento social de 6%, pero además, cuantifica las externalidades positivas a través de la estimación de los beneficios sociales atribuibles a la reducción en las concentraciones, los cuales están principalmente relacionados a la reducción de muertes prematuras. De las tablas anteriores, se desprende que el VAN social asociado a la utilización de calefacción distrital (Escenario 2) alcanza un valor de 45.943 millones de pesos. Cabe destacar que estos beneficios son directos en salud y no se ha considerado otros posibles beneficios indirectos para la población.

6 Conclusiones

Se evaluaron dos escenarios de calefacción para los futuros proyectos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua, considerando alternativas de calefacción y el impacto en la calidad del aire de MP10, MP2,5, CO y COV. Se consideró el escenario de desarrollo de los nuevos proyectos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua utilizando sistemas de calefacción distrital.

Para construir los supuestos de penetración de calefactores, tasas de emisión y configuración de los dos escenarios, se utilizó información de estudios previos y, para determinar el impacto en la calidad del aire de las emisiones de material particulado MP10, MP2,5 y otros contaminantes, se utilizó el sistema de modelación Calmet – Calpuff. Este modelo regulatorio de la US EPA permitió predecir incrementos en los niveles ambientales de MP y otros contaminantes de la ciudad de Rancagua por la introducción de nuevas emisiones atmosféricas producidas por el uso de las distintas alternativas de calefacción en las futuros desarrollos inmobiliarios.

Se determinó que, para un de crecimiento futuro de 20 nuevos proyectos inmobiliarios a desarrollarse en Rancagua, con un total aproximado de 5.800 nuevas viviendas, podrían aumentar considerablemente las emisiones de material particulado (MP10 y MP2,5) y otros contaminantes, dependiendo del escenario de calefacción a optar. Si se optara por seguir introduciendo equipos de combustión a leña convencionales (Escenario 1), se aportaría con aproximadamente 140,6 y 136,6 ton/año de MP10 y MP2,5, respectivamente. Si se introdujeran sistemas de calefacción distrital (Escenario 2), se estimó que se podría aportar con 1,9 y 1,6 ton/año de MP10 y MP2,5, respectivamente. Las emisiones de MP son considerablemente menores para este escenario, debido a que se lograría un mayor control en la combustión de la biomasa en las calderas de calefacción distrital y, además, estas unidades térmicas tendrían incorporados sistemas de captación de partículas, por lo que no constituiría una carga ambiental importante de material particulado cuando se encuentre en operación.

El aporte de las emisiones de MP a los niveles ambientales de la ciudad de Rancagua, para los dos escenarios de calefacción, sugiere que, en promedio, los nuevos desarrollos habitacionales evaluados podrían incrementar los niveles promedios anuales de MP10 de la ciudad de Rancagua en $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y/o $0,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ si se considera el desarrollo de los proyectos inmobiliarios bajo el escenario 1 y/o escenario 2, respectivamente. Este aporte aumenta si consideramos el aporte promedio diario, donde se estimó que los valores serían de $15,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y/o $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el escenario 1 y/o escenario 2, respectivamente.

Del análisis, se desprende que el VAN social asociado a la utilización de calefacción distrital (Escenario 2) alcanzaría un valor de 45.943 millones de pesos. Cabe destacar que estos beneficios son directos en salud, y no se ha considerado otros posibles beneficios indirectos para la población. Los beneficios en salud se deben principalmente a las muertes evitadas y los costos evitados en enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

Finalmente, el escenario más favorable, en cuanto al menor aporte de Material Particulado Respirable (MP10) y Fino (MP2,5) y el mayor beneficio social, fue el escenario 2, consistente en sistemas de calefacción distrital. Por lo tanto, sería recomendable considerar esta alternativa de calefacción para los futuros proyectos inmobiliarios a desarrollarse en la ciudad de Rancagua.

7 Referencias bibliográficas

CENMA (2007). "Estudio Diagnóstico Fuentes De Emisión Responsables Del Material Particulado Respirable. MP10 En Rancagua". Estudio preparado para la Ex –CONAMA, Región de O'Higgins.

Cifuentes, L. A. and C. Ojeda (1998). "Valoración de efectos a la salud en Chile utilizando transferencia de valores". Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile.

DICTUC (2007). "Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región". Estudio preparado para la Ex –CONAMA, Región de O'Higgins.

DICTUC (2009). "Antecedentes para el Análisis General de Impacto Económico y Social del Anteproyecto de la Norma de Calidad Primaria para PM2.5 (AGIES)". Santiago, Chile.

EULA (2009), "Consultoría Medidas para el control de la contaminación por combustión residencial de leña". Estudio preparado para la Ex–CONAMA, Región de O'Higgins.

Eskeland, Gunnar (1994), "The Net Benefits of an Air Pollution Control Scenario for Santiago", cap III en "Chile: Managing Environmental Problems", Report N° 13061-Ch, The World Bank.

Holz, J. C. (2000). "Estimación de costos unitarios en morbilidad y mortalidad, su aplicación para calcular los beneficios del plan de prevención y descontaminación atmosférica de la región metropolitana". Santiago, Universidad de Chile.

Mardones, C., J. Jiménez (2008). "Análisis Económico y Social de Posibles Medidas a Incorporar en el Plan de Descontaminación Valle Central Región de O'Higgins", IIT de la Universidad de Concepción. Estudio preparado para la Ex –CONAMA, Región de O'Higgins.

MIDEPLAN (2012). Precios Sociales para la Evaluación Social de Proyectos.

Moreira B., Sandra. (2000) "Estimación de Beneficios Sociales en Salud Anteproyecto de revisión de las normas de calidad primaria de aire contenidas en la Res N°1215/78 del Ministerio de Salud MINSAL". Informe Final Noviembre 2000.

Pope CA 3rd, Burnett RT, Thurston GD, Thun MJ, Calle EE, Krewski D. (2004). "Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: Epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease". *Circulation* 2004; 109:71-77.

Sánchez, J.M, Figueroa, E., Kunze, V. y C. Pardo (1998): "Valor económico de la visibilidad en la Región Metropolitana", estudio elaborado por Dpto. de Economía, Universidad de Chile para CONAMA R.M.

US EPA Emission Factors AP-42 (2003), Compilation of Air Pollutant Emission Factors. "1.6 Open Combustion, Wood Residue Combustion in Boilers".

ANEXOS

Listado de Anexos:

ANEXO A:	LOCALIZACIÓN DE LOS PROYECTOS DE CALEFACCIÓN DISTRITAL EN FUTUROS BARRIOS DE RANCAGUA	55
ANEXO B:	VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO EN EL DOMINIO DE LA MODELACIÓN	58

ANEXO A

LOCALIZACIÓN DE LOS PROYECTOS DE CALEFACCIÓN DISTRITAL EN FUTUROS BARRIOS DE RANCAGUA



Figura A.1: Localización de sistemas de Calefacción Distrital en los futuros proyectos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua zona norte

Fuente: Elaboración propia con imagen de Google Earth

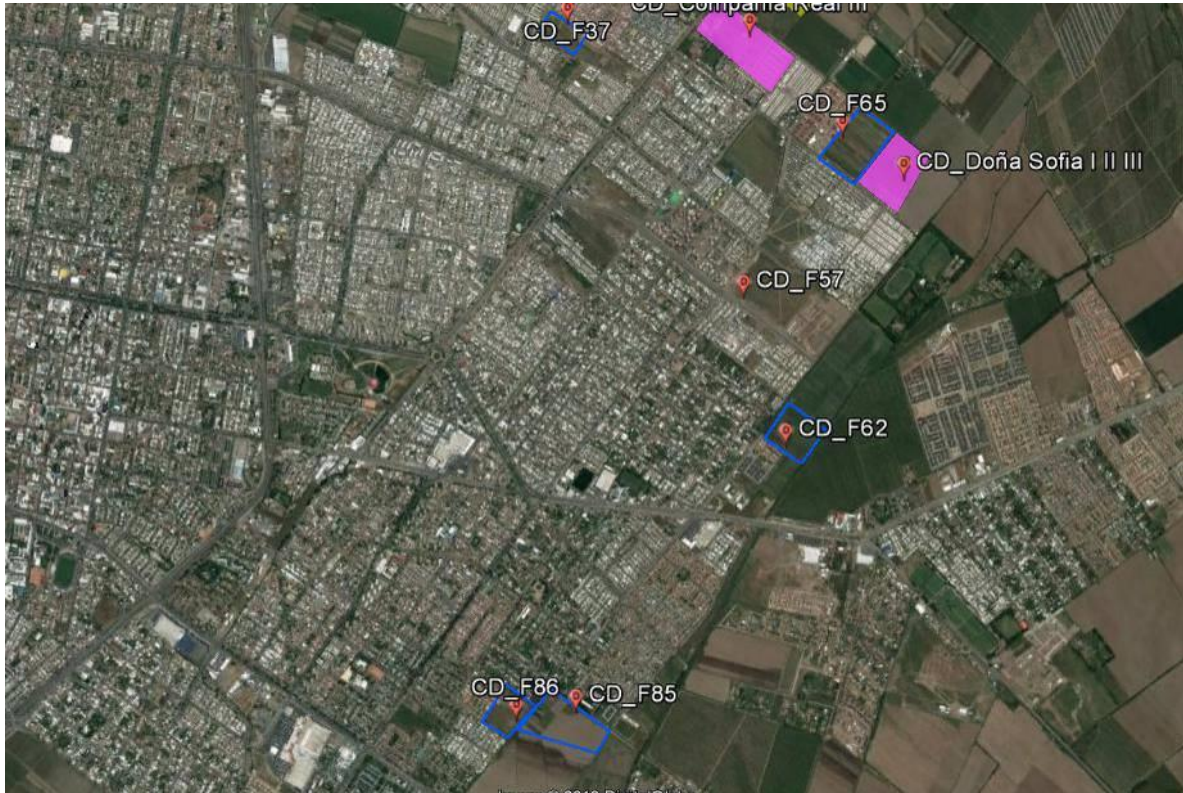


Figura A.2: Localización de sistemas de Calefacción Distrital en los futuros proyectos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua zona oriente

Fuente: Elaboración propia con imagen de Google Earth

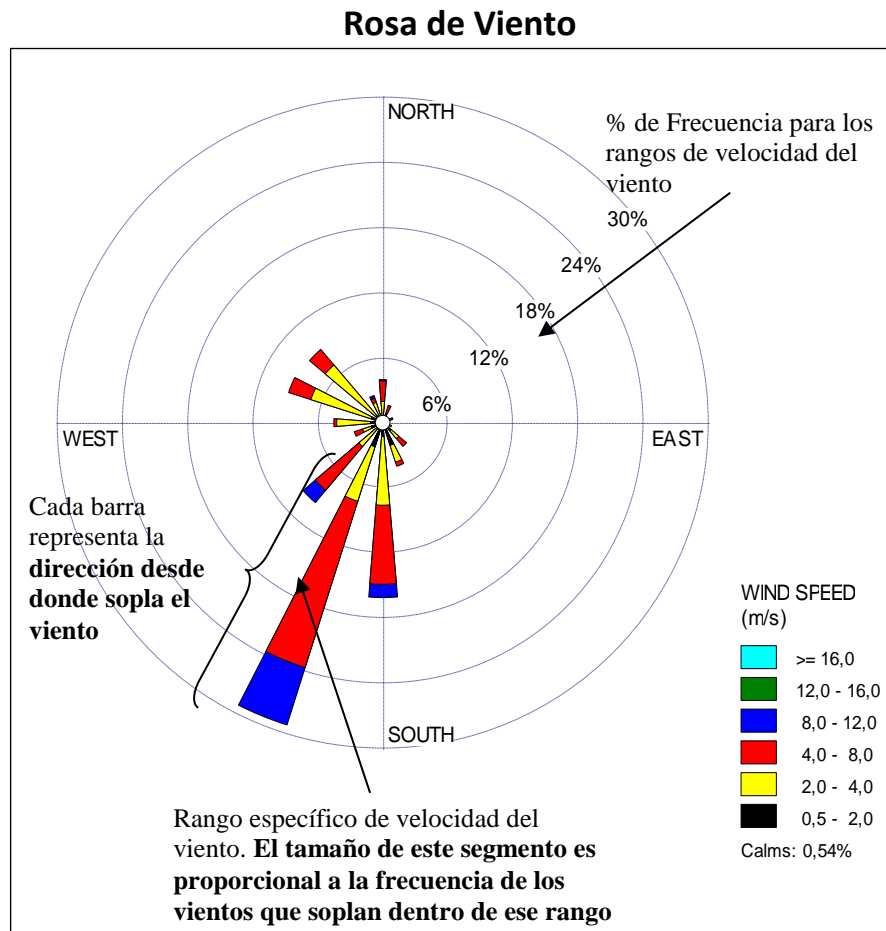


Figura A.3: Localización de sistemas de Calefacción Distrital en los futuros proyectos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua zona sur-poniente

Fuente: Elaboración propia con imagen de Google Earth

ANEXO B

VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO EN EL DOMINIO DE LA MODELACIÓN



La rosa de viento muestra información de la dirección y distribución de velocidad de los vientos en un solo gráfico.

Cada barra del gráfico representa la dirección **desde donde sopla el viento** y el norte (North) se representa en la parte superior de la rosa.

Esta rosa de viento considera 16 direcciones para el viento: N, NNE, NE, ENE, E, ESE, SE, SSE, S, SSW, SW, WSW, W, WNW, NW, NNW.

El círculo en el centro del gráfico representa la frecuencia de calmas (calms) o periodos en el que la velocidad del viento es muy baja o inexistente. El tamaño de este círculo aumenta con la frecuencia de calmas.

Las barras del gráfico estas divididas en segmentos de diferentes tamaño y color. Cada segmento/ color representa un rango específico de velocidad del viento (por ejemplo en la figura el segmento color amarillo, representa el rango de velocidad 2-4 m/s para el viento. El tamaño o largo de cada segmento dentro de cada barra es proporcional a la frecuencia de los vientos que soplan en ese rango. La frecuencia se representa porcentualmente en los diferentes círculos concéntricos del gráfico.

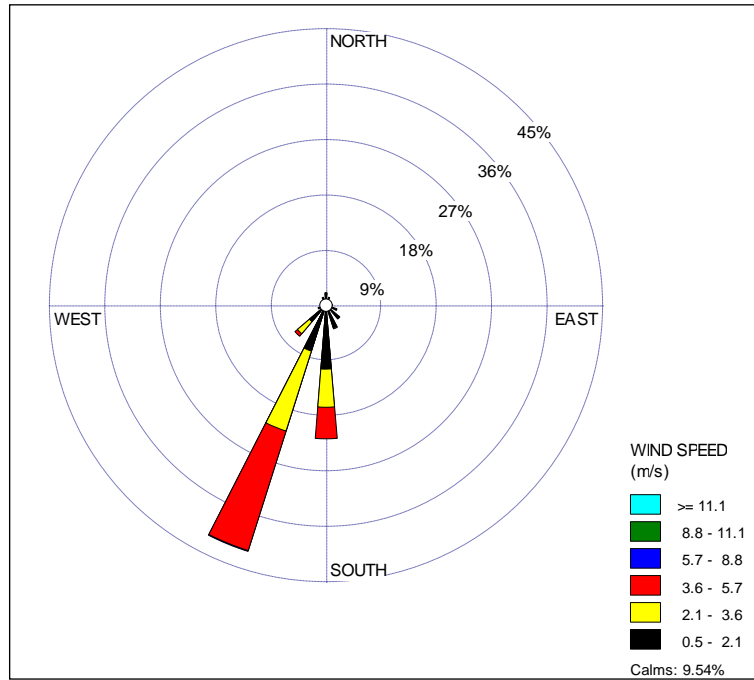


Figura B.1: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, enero 2006.

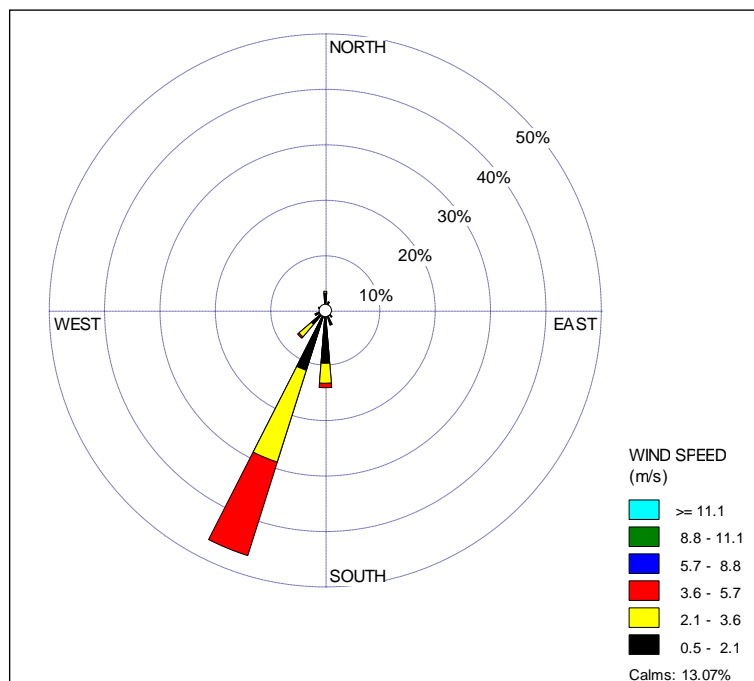


Figura B.2: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, febrero 2006.

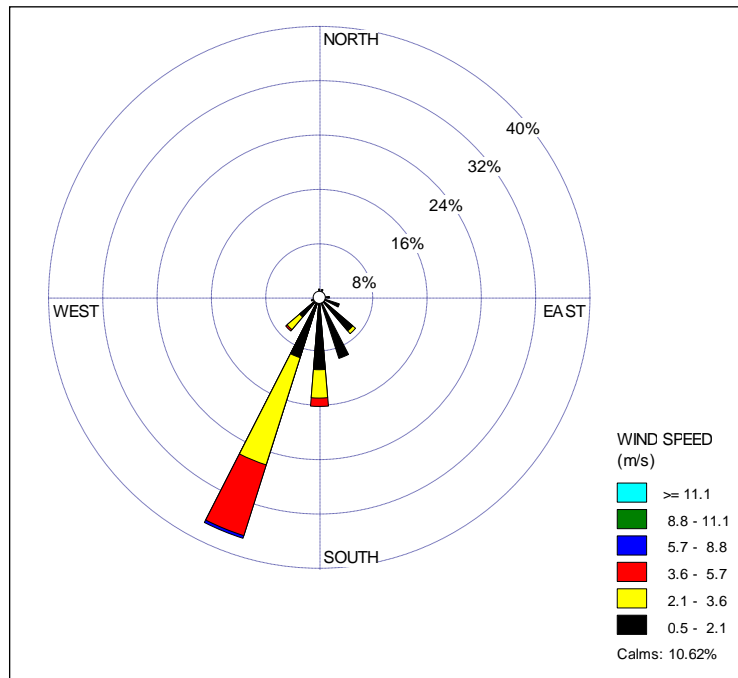


Figura B.3: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, marzo 2006.

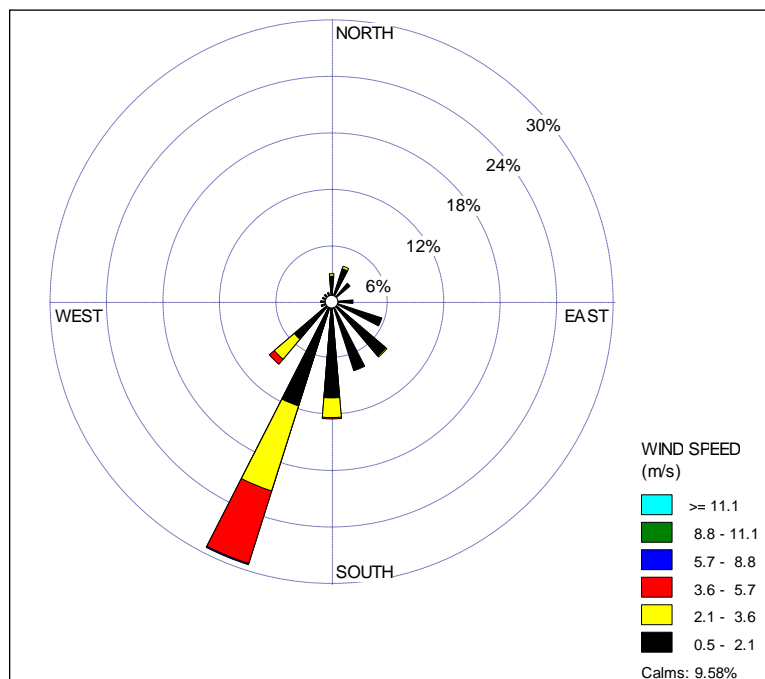


Figura B.4: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, abril 2006.

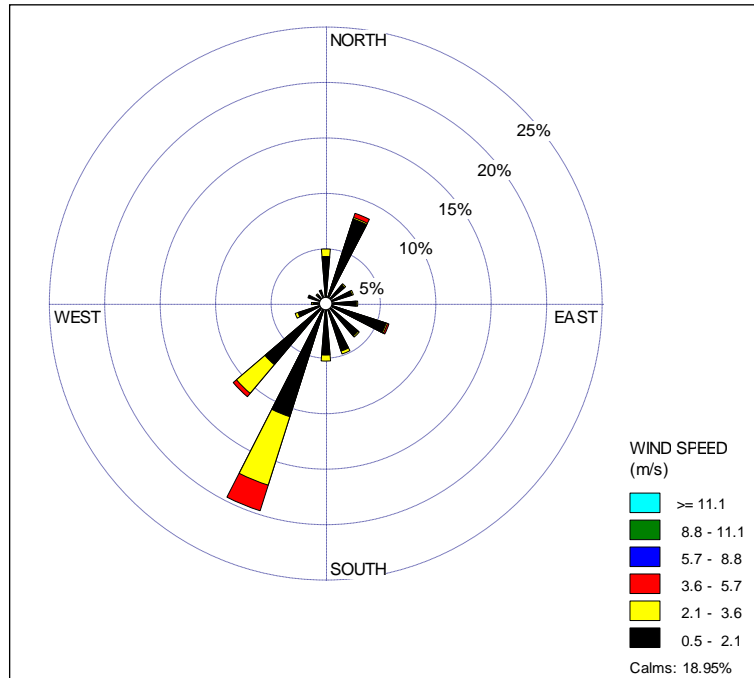


Figura B.5: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, mayo 2006.

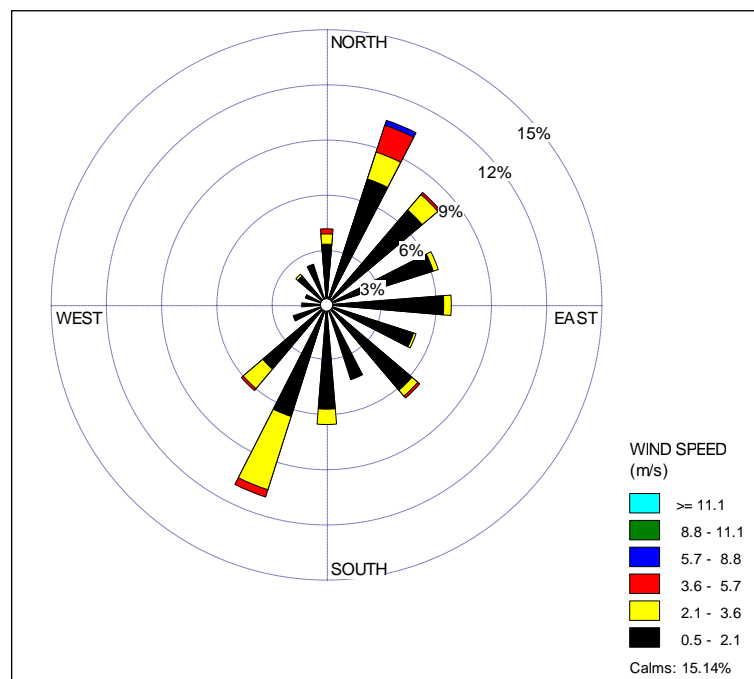


Figura B.6: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, junio 2006.

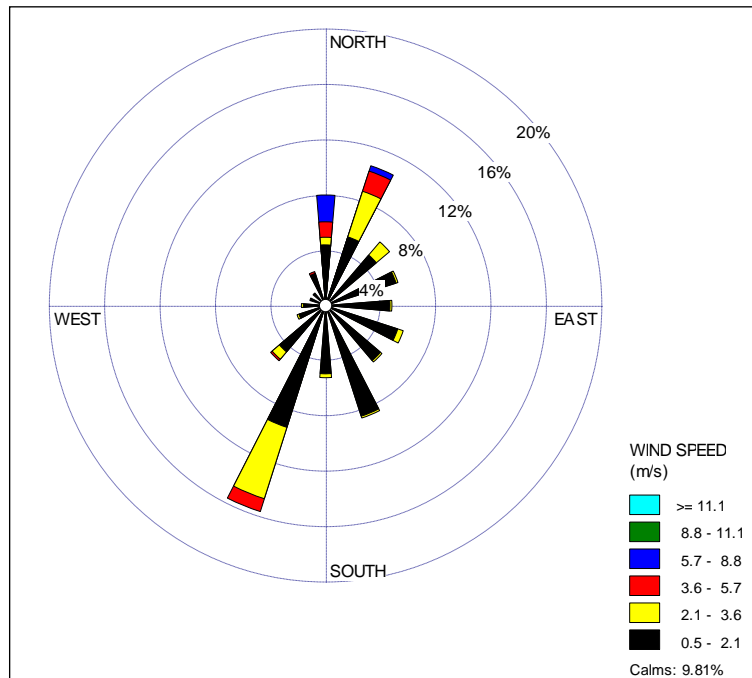


Figura B.7: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, julio 2006.

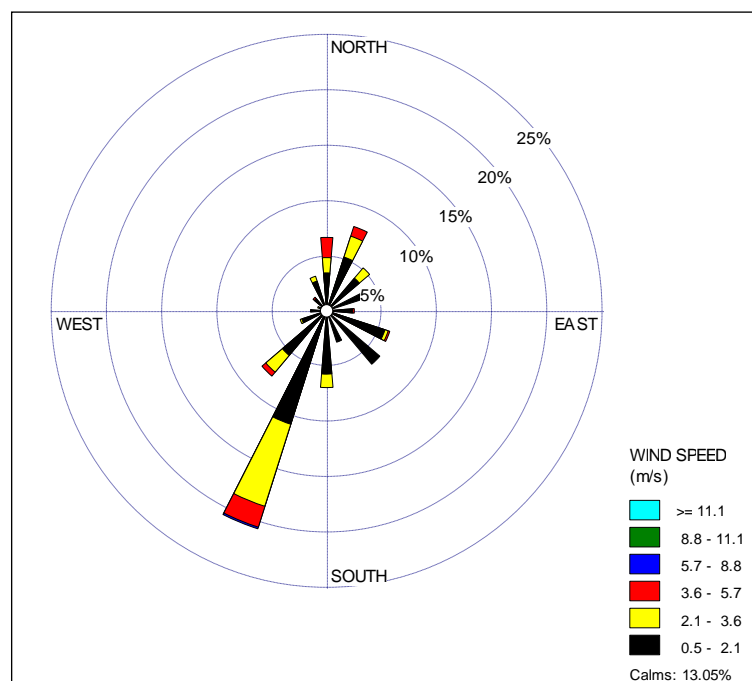


Figura B.8: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, agosto 2006.

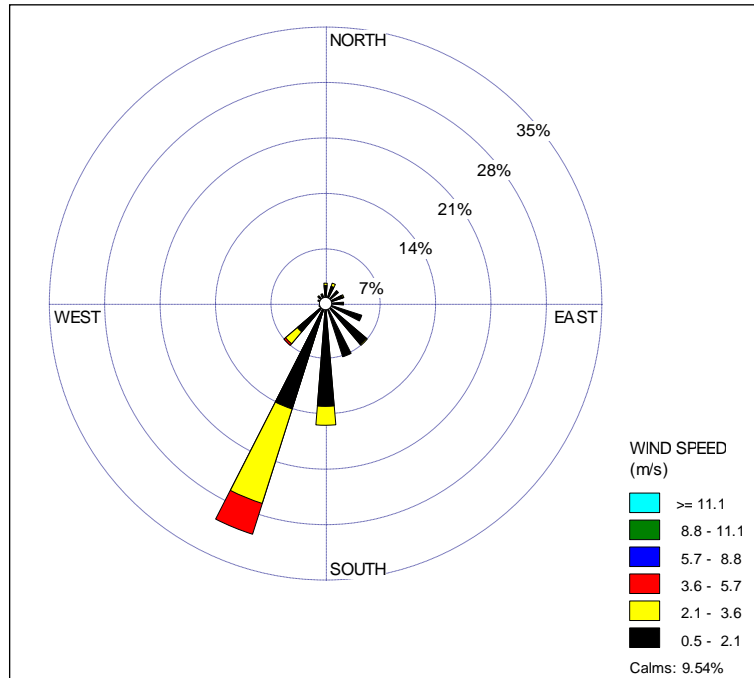


Figura B.9: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, septiembre 2006.

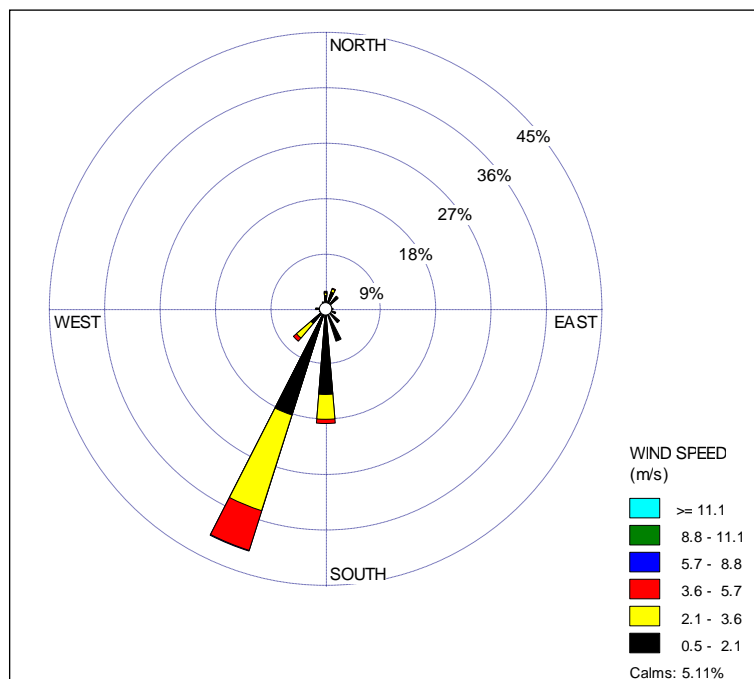


Figura B.10: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, octubre 2006.

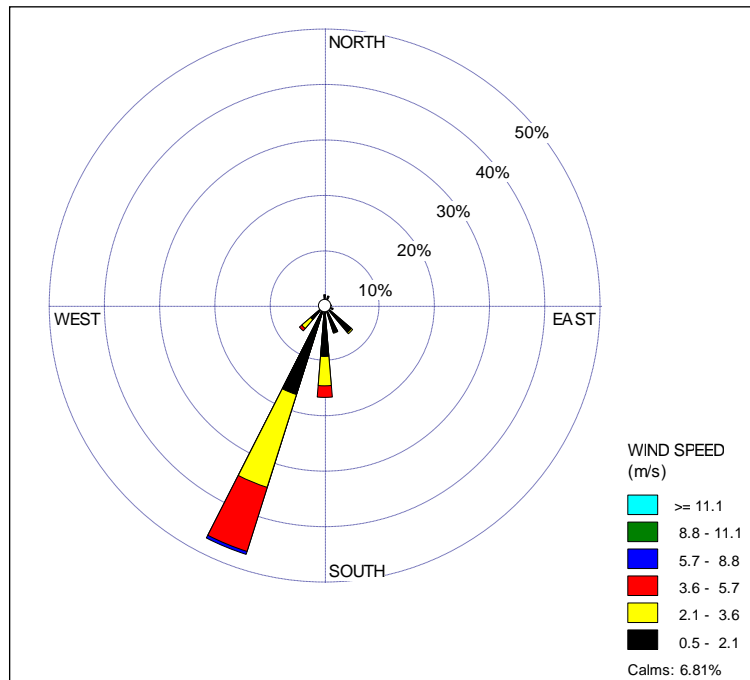


Figura B.11: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, noviembre 2006.

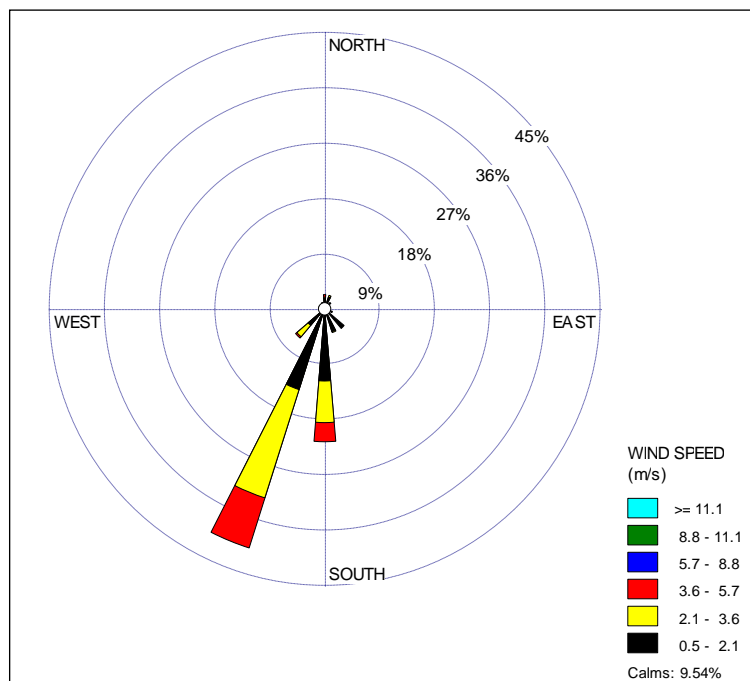


Figura B.12: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, diciembre 2006.

Índice de tablas

Tabla 2.1: Proyectos inmobiliarios proyectados para la ciudad de Rancagua	5
Tabla 2.2: Factor de emisión de contaminantes del aire para estufas de combustión lenta cámara simple y templador	7
Tabla 2.3: Factor de emisión de Contaminantes del aire para estufas de combustión lenta cámara simple y templador ponderado por el contenido de humedad de la leña y operación del calefactor	7
Tabla 2.4: Factores de emisión de contaminantes del aire para las calderas de biomasa para los sistemas de calefacción distrital	9
Tabla 3.1: Variables meteorológicas registradas en las estaciones de superficie ubicadas en el Valle Central de la Región de O’Higgins, año 2006.....	13
Tabla 3.2: Niveles considerados para la modelación con CALMET	14
Tabla 3.3: Receptores puntuales considerados para la modelación con CALMET – CALPUFF	15
Tabla 4.1: Valores unitarios utilizados en la valoración monetaria	25
Tabla 4.2: Coeficientes de funciones Concentración-Respuesta	26
Tabla 4.3: Tasa de efectos base	26
Tabla 5.1: Emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros proyectos inmobiliarios bajo Escenario 1 de calefacción en los hogares	28
Tabla 5.2: Emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros proyectos inmobiliarios bajo Escenario 2	30
Tabla 5.3: Distribución de las emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 1.....	33
Tabla 5.4: Resultados de la simulación del aporte de MP10 y MP2,5 de los futuros proyectos inmobiliarios evaluados a los receptores ubicados dentro de la ciudad de Rancagua bajo el Escenario 1.....	34
Tabla 5.5: Resultados de la simulación del aporte de CO y COV de los futuros proyectos inmobiliarios evaluados a los receptores ubicados dentro de la ciudad de Rancagua bajo el Escenario 1.....	35
Tabla 5.6: Tasas de emisión de contaminantes atmosféricos proyectadas para los sistemas de distribución de calor de los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 2.....	41

Tabla 5.7: Resultados de la simulación del aporte de MP10 y MP2,5 de los futuros proyectos inmobiliarios a los receptores ubicados dentro de la ciudad de Rancagua bajo el Escenario 2	42
Tabla 5.8: Resultados de la simulación del aporte de CO y COVs de los futuros proyectos inmobiliarios a los receptores ubicados dentro de la ciudad de Rancagua bajo el Escenario 2	43
Tabla 5.9: Efectos base para Rancagua (millones de pesos, MM\$ año 2012)	48
Tabla 5.10: Cálculo de beneficios totales para la salud escenario 2 con calefacción distrital (millones de pesos, MM\$ año 2012)	49

Índice de figuras

Figura 1.1: Comunas pertenecientes a zona saturada por material particulado respirable MP10	1
Figura 1.2: Percentil 98 de concentración 24 horas para MP10. Periodo 2004-2011.	2
Figura 1.3: Percentil 98 de concentración 24 horas para MP2,5. Periodo 2009-2011.	3
Figura 2.1: Futuros proyectos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua.....	6
Figura 2.2: Estacionalidad del consumo de leña en los hogares de Rancagua	8
Figura 3.1: Esquema de los datos requeridos por el modelo CALMET y los subprogramas de procesamiento de información.	11
Figura 3.2: Esquema de los datos requeridos por el modelo CALPUFF.	12
Figura 3.3: Dominio de la para el modelo CALMET- CALPUFF	14
Figura 3.4: Receptores puntuales seleccionado para la modelación con CALMET – CALPUFF en Rancagua	16
Figura 3.5: Detalle de la topografía para el área de estudio en el Valle Central de la Región de O’Higgins.....	17
Figura 3.6: Topografía tridimensional para el área de estudio en la ciudad de Rancagua	18
Figura 3.7: Ubicación de los futuros proyectos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua	19
Figura 3.8: Plano Regulador para la Comuna de Rancagua, Región del Libertador Bernardo O’Higgins.....	20
Figura 3.9: Zonas definidas como extensión urbana en el Plano Regulador para la Comuna de Rancagua	21
Figura 3.10: Proyección hipotética para futuros proyectos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua	22
Figura 3.11: intensidad del uso de los artefactos a combustión durante el día durante el invierno.....	24
Figura 5.1: Distribución de las emisiones de MP y otro contaminantes dentro del dominio del modelo para las proyecciones de futuros desarrollos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua	32

Figura 5.2: Distribución del aporte promedio anual a la concentración ambiental de MP10 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Rancagua bajo el Escenario 1.....	36
Figura 5.3: Distribución del aporte promedio máximo de 24 horas a la concentración ambiental de MP10 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Rancagua bajo el Escenario 1.	37
Figura 5.4: Distribución del aporte promedio máximo anual a la concentración ambiental de MP2.5 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Rancagua bajo el Escenario 1.	38
Figura 5.5: Variación estacional del aporte promedio diario de MP10 de las emisiones atmosféricas de los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 1	39
Figura 5.6: Distribución de las emisiones de MP y otro contaminantes dentro del dominio del modelo para las proyecciones de futuros desarrollos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua	40
Figura 5.7: Distribución del aporte promedio anual a la concentración ambiental de MP10 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Rancagua bajo el Escenario 2.....	44
Figura 5.8: Distribución del aporte promedio máximo de 24 hr a la concentración ambiental de MP10 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Rancagua bajo el Escenario 2	45
Figura 5.9: Distribución del aporte promedio máximo anual a la concentración ambiental de MP2,5 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Rancagua bajo el Escenario 2	46
Figura 5.10: Variación estacional del aporte promedio diario de MP10 de las emisiones atmosféricas de los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 2	47
Figura A.1: Localización de sistemas de Calefacción Distrital en los futuros proyectos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua zona norte.....	55
Figura A.2: Localización de sistemas de Calefacción Distrital en los futuros proyectos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua zona oriente.....	56
Figura A.3: Localización de sistemas de Calefacción Distrital en los futuros proyectos inmobiliarios en la ciudad de Rancagua zona sur-poniente.....	57
Figura B.1: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, enero 2006.	60
Figura B.2: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, febrero 2006.....	60

Figura B.3: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, marzo 2006.....	61
Figura B.4: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, abril 2006.	61
Figura B.5: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, mayo 2006.....	62
Figura B.6: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, junio 2006.....	62
Figura B.7: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, julio 2006.....	63
Figura B.8: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, agosto 2006.....	63
Figura B.9: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, septiembre 2006.	64
Figura B.10: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, octubre 2006.	64
Figura B.11: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, noviembre 2006.	65
Figura B.12: Velocidad y dirección del viento en Rancagua, diciembre 2006.....	65