



“IDENTIFICACIÓN DE UNA RELACIÓN ENTRE LAS EMISIONES DE FUENTES DE MATERIAL PARTICULADO Y LAS CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE EN LAS COMUNAS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS”

Estudio desarrollado por:

Asesorías en Ingeniería Ambiental Pedro Alex Sanhueza Herrera E.I.R.L.

Para

Comisión Nacional del Medio Ambiente

**Diciembre 2005
Santiago. Chile**



Equipo de Trabajo

Dr. Pedro Sanhueza H.
Ing. Mónica Torreblanca V.
Ing. Jorge Marchant B.
Ing. Mauricio Grez A.

Jefe de Proyecto
Especialista Modelación Calidad del Aire
Especialista Modelación Fotoquímica
Especialista Estimación y Modelación Emisiones

Contraparte Técnica

CONAMA Dirección Ejecutiva:
CONAMA Región Araucanía:

Dr. Fernando Farias
Ing. Carmen Gloria Contreras

Agradecimientos

SECTRA:
CONAF:
CONAMA IX:

Ing Rubén Triviño
Unidad de Gestión y Manejo del Fuego
Ing. Rocío Toro



INDICE

I.	INTRODUCCION	4
1.1	Antecedentes	4
1.2	Objetivos del estudio	5
1.3	Alcance y ámbito que cubre el estudio	5
II.	SELECCIÓN DEL DOMINIO DE MODELACION	6
2.1	Resolución horizontal	7
2.2	Resolución Vertical	8
2.3	Subdominio	8
2.4	Dominio Meteorológico	9
III.	SELECCIÓN DE MODELOS	11
3.1	Selección del Modelo Meteorológico	11
3.2	Selección del Modelo de Emisiones	13
3.3	Selección del Modelo de Difusión y Transporte	15
3.4	Selección del Modelo Fotoquímico	16
IV.	SELECCIÓN DE EPISODIOS	18
4.1	Condiciones Meteorológicas sinópticas	18
4.2	Análisis de la Calidad del Aire	20
4.3	Condiciones meteorológicas adversas para dispersión	21
4.4	Selección de los episodios de contaminación por PM10	58
V.	INVENTARIO DE EMISIONES DE MATERIA PARTICULADA	66
5.1	Análisis Inventario actual – 2000	66
5.2	Mejoramiento y Actualización del Inventario de Emisiones PM10 – 2004	68
5.2.1	Fuentes Puntuales	68
5.2.2	Fuentes Móviles	74
5.2.3	Fuentes Areales	79
5.3	Comparación de Inventarios 2000 y 2004	88
VI.	EVALUACION DE LA MODELACION METEOROLÓGICA	90
6.1	Temperatura y Velocidad del Viento	90
6.2	Altura de Mezcla y Concentración de PM10	95
VII.	PREPARACIÓN BASES DE MODELACIÓN	97
7.1	Bases de Uso de Suelo	97
7.2	Bases Topográficas	99
7.3	Campos Meteorológicos	100
7.4	Emisión de Contaminantes	100
7.5	Calidad del Aire	119
7.6	Parámetros Químicos	120



VIII. EVALUACIÓN DE LA MODELACIÓN DEL CASO BASE	122
8.1 Aporte por fuentes	129
IX. USO DE LA MODELACIÓN PARA EVALUAR ESTRATEGIAS DE CONTROL DE EMISIONES	142
9.1 Crecimiento sin medidas (Modelación BAU)	143
9.2 Porcentaje reducción cumplimiento norma	147
9.3 Modelación Particulado Secundario	148
X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	150
XI. REFERENCIAS	154
ANEXOS	

A: Información utilizada en el estudio

B: Sistematización de los episodios con concentraciones mayores a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$

C: Ejercicio de aplicación del modelo para evaluar medidas de reducción de emisiones

D: Cálculo del potencial de reducción de emisiones según medida



I. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

Las comunas de Temuco y Padre las Casas han sido declaradas zona saturada por PM10 en 24 horas el 2 de Marzo del año 2005 (DS N° 35/05), por tal motivo el 28 de Julio del 2005 (Resolución exenta N° 1194) se ha dado inicio a la estructuración del Plan de descontaminación de dichas comunas, el cual deberá diseñar las medidas tendientes a recuperar la calidad del aire de Temuco y Padre Las Casas.

En el marco de los estudios necesarios para apoyar el Plan de Descontaminación de las comunas de Temuco y Padre Las Casas se encuentra el estudio "Identificación de una relación entre las emisiones de fuentes de material particulado y las concentraciones de material particulado respirable en las comunas de Temuco y Padre Las Casas". Este informe corresponde al primer avance de dicho estudio, el cual entrega los antecedentes para mejorar el inventario de emisiones, y generar las bases para la modelación primaria y secundaria del PM10.

Este estudio está diseñado para proveer información técnica relacionada con las concentraciones en 24 horas del PM10 en Temuco y Padre las Casas, y específicamente proveer las bases para evaluar estrategias de control de emisiones que permitan la toma de decisiones para lograr el cumplimiento de la normativa para este contaminante. Dado que la zona comprendida por las Comunas de Temuco y Padre las Casas ha sido declarada zona saturada por PM10 en 24 horas, por tanto el valor de diseño, es decir, el percentil 98 de las concentraciones en 24 horas en un año están sobre los 150 ug/m³. Las Tablas I.1 y I.2 muestran los valores de diseño para cada año en la estación Las Encinas y Padre las Casas, respectivamente.

Tabla I.1 Estación Las Encinas - Temuco

Año	No de días [PM10] sobre 150 ug/m³N	Percentil 98	Concentración Anual PM10	Media 3 años consecutivos
2001	13	188	56	--
2002	5	140	44	--
2003	8	152	43	48
2004	15	172	50	46

Tabla I.2 Estación Padre las Casas

Año	No de días [PM10] sobre 150 ug/m³N	Percentil 98	Concentración Anual PM10	Medio 3 años consecutivos
2001	S/I	--	--	--
2002	S/I	--	--	--
2003	0	101	38	--
2004	6	150	47	--

S/I = Sin Información

La designación de zona saturada requiere que se apliquen técnicas de modelación de calidad del aire que permitan simular estrategias de control de emisiones.



1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.2.1 Objetivo General

El objetivo general de este estudio es aplicar un modelo de dispersión para determinar la relación emisión-concentración de material particulado, que permita comprender el comportamiento de la contaminación atmosférica y evaluar estrategias de control de la contaminación en las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

1.2.2 Objetivos específicos:

- a) Proveer estimaciones de relaciones cuantitativas entre contribuciones de familias emisoras y condiciones esperadas de calidad del aire en distintos puntos del área donde se encuentran las comunas de Temuco y PLC.
- b) Evaluar el efecto de escenarios de reducción de emisiones en condiciones locales de calidad del aire.
- c) Mejorar el inventario de emisiones existente para el caso del material particulado.

1.3 ALCANCE Y ÁMBITO QUE CUBRE EL ESTUDIO

El ámbito territorial del estudio abarca una zona de modelación de 50x50 Kms, lo que permite incluir las zonas urbanas de las comunas de Temuco y Padre de la Casas, así como la inclusión de fenómenos meteorológicos de escala mayor que pudiesen dar cuenta de eventos críticos. No obstante lo anterior, se evaluaron dominios menores para dar cuenta en más detalle, de zonas que pudiesen presentar acumulaciones de contaminantes debido a fenómenos de recirculación o estancamiento de masas de aire local. Esto último cobra importancia debido a la topografía existente en la zona de estudio.

El ámbito temporal del estudio se centró en 4 episodios de alta concentración de PM10 con al menos 2 días consecutivos con altas concentraciones, los cuales se extrajeron de los registros de monitoreo de Material Particulado realizado entre los años 2001 al 2004.



II. SELECCIÓN DEL DOMINIO DE MODELACION

El dominio de modelación se ha escogido de manera tal de cubrir las influencias regional y urbana, y a la vez proveer una detallada representación de las emisiones, campos meteorológicos, y los patrones de concentración de PM10 en el área de interés.

Dado que el área declarada saturada por PM10 en 24 horas corresponde a las comunas de Temuco y Padre Las Casas, el área de modelación debe incluir como mínimo estas superficies. De este modo, el dominio de modelación se ha estructurado como un área de 50 x 50 kilómetros lo que asegura la inclusión de ambas comunas, y permite además considerar emisiones de quemas agrícolas e incendios forestales que pudiesen impactar en el área declarada saturada. La Figura 2.1 muestra el dominio de modelación en el contexto regional.



Figura 2.1 Área de modelación en el contexto de la IX Región.

El dominio de modelación se caracteriza por ser una estructura volumétrica dividida en celdas que se superponen sobre el área de estudio. Está constituida horizontalmente por una grilla que divide la superficie, y verticalmente por capas que permiten establecer las diferentes condiciones meteorológicas que ocurren durante el episodio de contaminación.

La estructura del dominio sobre las Comunas de Temuco y Padre Las Casas se define por su resolución horizontal, resolución vertical, y la definición de un subdominio.



2.1 Resolución horizontal

La extensión regional del dominio de modelación exterior, más allá de las Comunas de Temuco y Padre las Casas, provee condiciones de borde realistas para las áreas de interés primaria (zonas urbanas de Temuco y Padre las Casas), evitando así, parte de la incertidumbre introducida en los resultados del modelo debido a la especificación de las condiciones de borde.

Las características del dominio de modelación escogido son (Ver Figura 2.2):

- Dominio horizontal de 50Km. por 50Km. cubriendo una superficie de 2500 Km² (La superficie de las comunas de Temuco y Padre Las Casas suma aproximadamente 870 Km²)
- Origen del dominio: Vértice inferior izquierdo cuyas coordenadas UTM son (5679800 N; 161230 E) huso 19H.
- Grilla de 25 por 25 celdas cuadradas, cada una de 2Km. por 2Km.

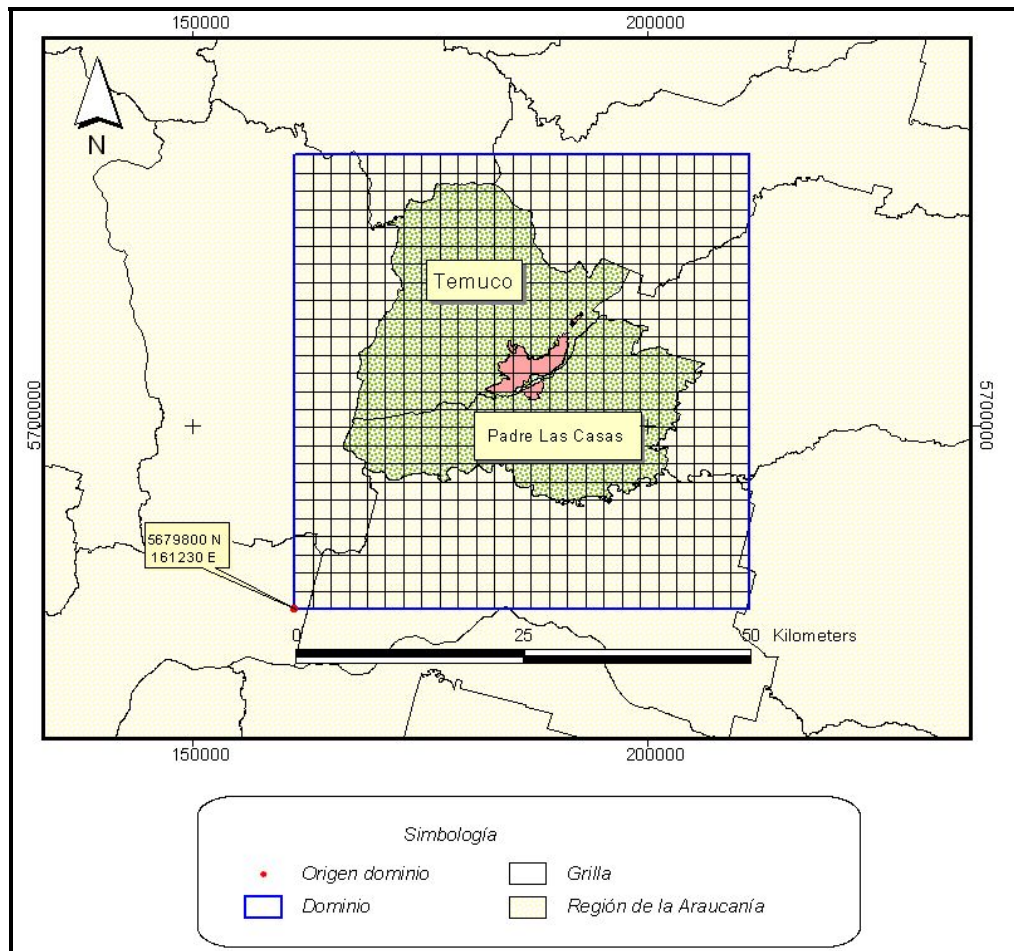


Figura 2.2 Dominio de modelación



2.2 Resolución vertical

El dominio en su estructura vertical tiene dos implicancias fundamentales. Definir los campos meteorológicos en altura sobre el dominio de modelación y las eventuales emisiones de aquellas fuentes puntuales que logren alcanzar una altura importante.

Su definición está dada por los resultados de la modelación del modelo meteorológico MM5 y se compone de 8 capas. Estas capas cubren desde la superficie hasta los 17Km. La Figura 2.3 muestra la estructura vertical del dominio de modelación.



Figura 2.3 Estructura vertical de modelación

2.3 Subdominio

Para una mayor resolución al dominio propuesto, se utilizó la capacidad de los modelos fotoquímicos de anidar un subdominio al interior del dominio general. Esta potencialidad se utiliza, precisamente, para observar en forma detallada el episodio de contaminación sobre las zonas urbanas. Temuco y Padre Las Casas, tendrán un dominio horizontal de 1Km. x 1Km. sobre ellas y, el dominio vertical, mantendrá la misma estructura que el dominio general. De esta forma el subdominio anidado (Ver Figura 2.4) tendrá las siguientes características:

- Dominio horizontal de 26Km. por 26Km. cubriendo una superficie de 676 Km².
- Origen del dominio: Vértice inferior izquierdo cuyas coordenadas UTM son (5691800 N; 173230 E) huso 19H.
- Grilla de 26 por 26 celdas cuadradas, cada una de 1Km. por 1Km.

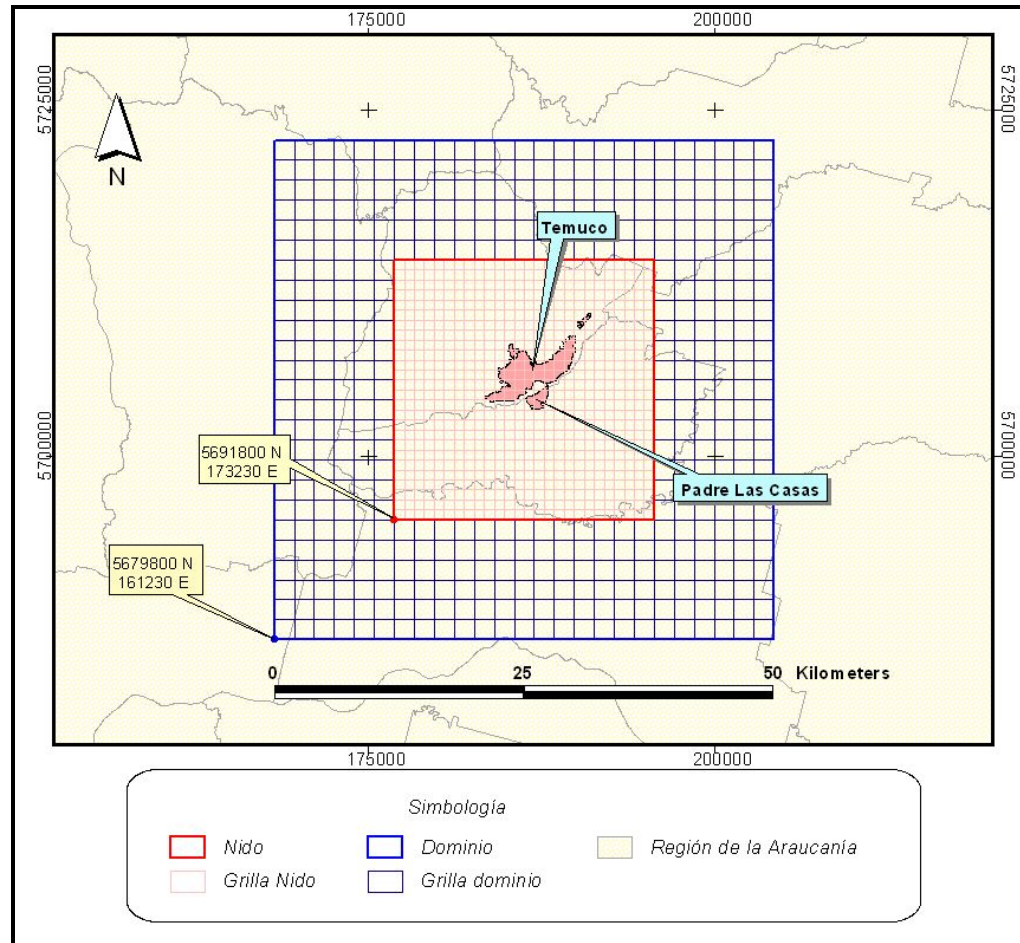


Figura 2.4 Anidado subdominio de modelación.

2.4 Dominio meteorológico

El dominio de modelación meteorológico para la aplicación del MM5 se muestra en la Figura 2.5. Este dominio debe ser mayor que el de la modelación de las concentraciones de PM₁₀, justamente para captar cualquier rasgo a escala sinóptica que pueda influir en la meteorología regional. El dominio de modelación considera una grilla exterior de 1350 x 1620 km con celdas de 54 km, y tres subdominios anidados de 558 x 558 Km con celdas de 18 Km, 294 x 276 Km, con celdas de 6 km, y finalmente una grilla de 158 x 128 km con celdas de 2 km. Este último subdominio es el que se utiliza para generar los campos meteorológicos que se utilizarán en la modelación del PM₁₀.

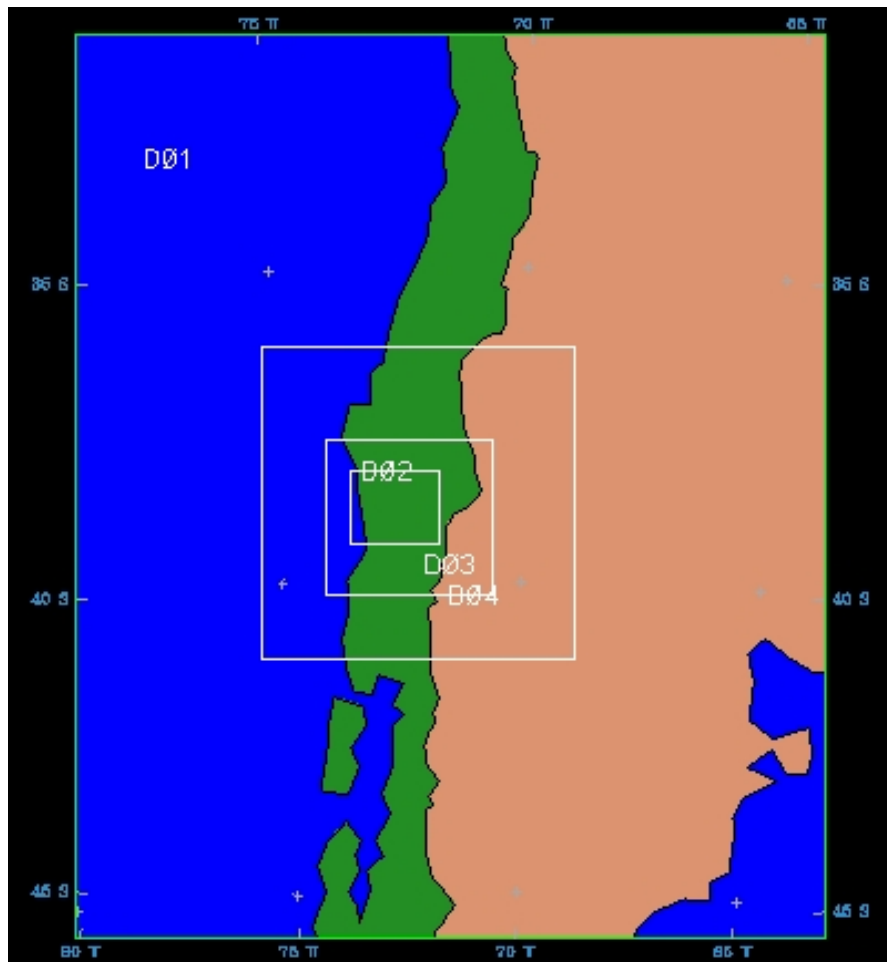


Figura 2.5 Dominio de modelación meteorológico



III. SELECCIÓN DE MODELOS

3.1 Selección del Modelo Meteorológico

Para generar los campos de variables meteorológicas se escogieron dos sistemas de Modelación: MM5 y CALMET. Ambos sistemas de modelación consideran condiciones meteorológicas 3-D y son recomendados por USEPA para aplicaciones a escala urbana-regional.

El modelo MM5 (fifth generation micro and meso scale meteorological model) fue diseñado por la Pennsylvania State University y el Nacional Center for Atmospheric Research (NCAR), para simular la circulación atmosférica a micro y mesoescala. El modelo se compone de varios programas de pre y post-proceso, los cuales conforman el sistema de modelación MM5.

La Figura 3.1 muestra un diagrama de flujo del sistema de modelación meteorológico. En ella se muestran los sub-programas y flujos de datos. Los sub-programas TERRAIN y REGRID interpolan la información meteorológica de superficie y altura para cada celda del dominio de modelación. Debido a que la interpolación no provee detalles a mesoescala, los datos deben ser realzados con observaciones de la red estándar de superficie y estaciones de radiosondeo (Rawinsonde), realizadas por el sub-programa LITTLE_R. El programa INTERPF efectúa la interpolación vertical desde los niveles de presión al sistema de coordenadas de MM5.

- **Determinación de condiciones meteorológicas adversas**

Se utilizó el modelo meteorológico MM5, el cual se alimenta con datos de reanálisis obtenido de los radiosondeos de altura en Puerto Montt, para caracterizar la información meteorológica de altura. Además, con el modelo meteorológico MM5 se determinaron las trayectorias de viento para los períodos críticos, así como los perfiles de temperatura con la altura para dar cuenta de inversiones térmicas, los campos de viento 3-D, y demás variables meteorológicas necesarias para correr los modelos de calidad del aire. En conjunto con el análisis de los datos de superficie, se determinaron las condiciones meteorológicas más desfavorables para la dispersión de partículas en la zona de estudio (recirculación, zonas de estancamiento vientos débiles, reforzamiento de inversiones térmicas, etc.).



3.2 Selección del Modelo de Emisiones

- **Modelo de emisiones SMOKE (Sparse Matrix Operator Kernel Emissions)**

Este modelo tiene por finalidad distribuir espacialmente y temporalmente las emisiones de especies químicas contaminantes sobre un espacio volumétrico de modelación, basado en el comportamiento de la meteorología del área de estudio (obtenida a través del modelo MM5), un inventario de emisiones que reflejen el aporte global de los distintos tipos fuentes, y parámetros de proyección geográfica que permitan definir el dominio sobre el que se trabaja.

Las tareas de este modelo se resumen en cinco pasos: ingresar el inventario correspondiente, crear la grilla de modelación, temporalizar las emisiones, especiar las emisiones, y mezclar todo lo anterior en un archivo de salida con el formato requerido por el modelo CAMx. En él, se pueden considerar 4 tipos de fuentes distintas: areales, puntuales, móviles y biogénicas. Según esto, el modelo fue ejecutado en forma separada para cada tipo de fuente, pero finalmente son mezcladas en un archivo único (Ver Tabla III.1).

Tabla III.1 Estructura modelo SMOKE, según sus pasos de ejecución.

Fuente	Subprogramas	Salida	Archivo CAMx
AREAL	Smkinven Grdmat Temp Spcmat Smkmerge	Archivo de emisiones de fuentes areales	Archivo de Emisiones "EMISSIONS"
MÓVILES	Smkinven Emisfac Grdmat Premobl Temp Spcmat Smkmerge	Archivo de emisiones de fuentes móviles	
BIOGÉNICAS	Rawbio Tmptbio Smkmerge	Archivo de emisiones biogénicas	
PUNTUALES	Smkinven Elevpoint Grdmat Laypoint Temp Spcmat Smkmerge	Archivo de fuentes puntuales	Archivo de emisiones Puntuales "PTSOURCE"

Fuente SMOKE User's Manual, 2000.



- **Fuentes Areales**

El modelo SMOKE construye un archivo de concentración de contaminantes, de fuentes como las emisiones de hogares, quemas agrícolas, incendios forestales, evaporación de combustibles, uso de solventes químicos, criaderos de animales y toda aquella actividad cuyo aporte sea considerado como emisión estacionaria de baja altura. El modelo debe ejecutar 5 subprogramas (ver Tabla III.2).

Tabla III.2 Subprogramas modelo SMOKE.

Nombre	Descripción
Smkinven	Que prepara el archivo de texto que contiene los datos del inventario de emisiones para ser leídos por los siguientes subprogramas.
Grdmat	Crea un engrillado sobre los datos del inventario, dando de esta forma una localización a los datos del inventario en términos del dominio de modelación.
Temp	Transforma las unidades de tiempo que trae el inventario de emisiones a la escala temporal deseada.
Spcmat	Basado en perfiles de mecanismos químicos (CB-IV ¹), crea el archivo con las especies que se requieran.
Smkmerge	Une los pasos anteriores consolidando un archivo de salida final

Fuente SMOKE User's Manual, 2000.

Para cada subprograma es necesario crear una serie de archivos que contengan parámetros que van desde las coordenadas geográficas hasta los perfiles temporales de distribución de contaminantes.

- **Fuentes Puntuales**

Para las fuentes puntuales se debe seguir el mismo protocolo que para las fuentes areales, sin embargo, el tipo de información que se incluye en el inventario de fuentes puntuales se extiende, además de las tasas de emisión de cada especie contaminante emitida, los parámetros propios de la chimenea (diámetro, altura y localización geográfica de ésta). Para este tipo de fuentes, se ejecutan dos subprogramas adicionales a los utilizados en las fuentes areales (ver Tabla III.3.).

Tabla III.3 Subprogramas utilizados en fuentes areales.

Nombre	Descripción
Laypoint	Calcula la altura efectiva de la pluma de una o más fuentes, basada en la meteorología.
Elevpoint	Realiza el tratamiento Plume-in-grid para las fuentes puntuales (opcional).

Fuente SMOKE User's Manual, 2000.

¹ Mecanismo químico utilizado por el modelo CAMx.



3.3 Selección del Modelo de Difusión y Transporte

Para modelar el transporte y difusión del PM10 se escogieron dos modelos: CALPUFF y CAMx. El primero se utilizará en la modelación de estrategias de control de PM10 primario, y el segundo para modelar PM10 de origen secundario.

3.3.1 CALPUFF

El sistema de modelación CALMET/CALPUFF ha sido recomendado por la USEPA para ser utilizado en situaciones de topografía compleja y donde exista variación espacial de los campos de viento, es decir, para aplicaciones urbanas y regionales. La Figura 3.2 muestra un diagrama del sistema de modelación.

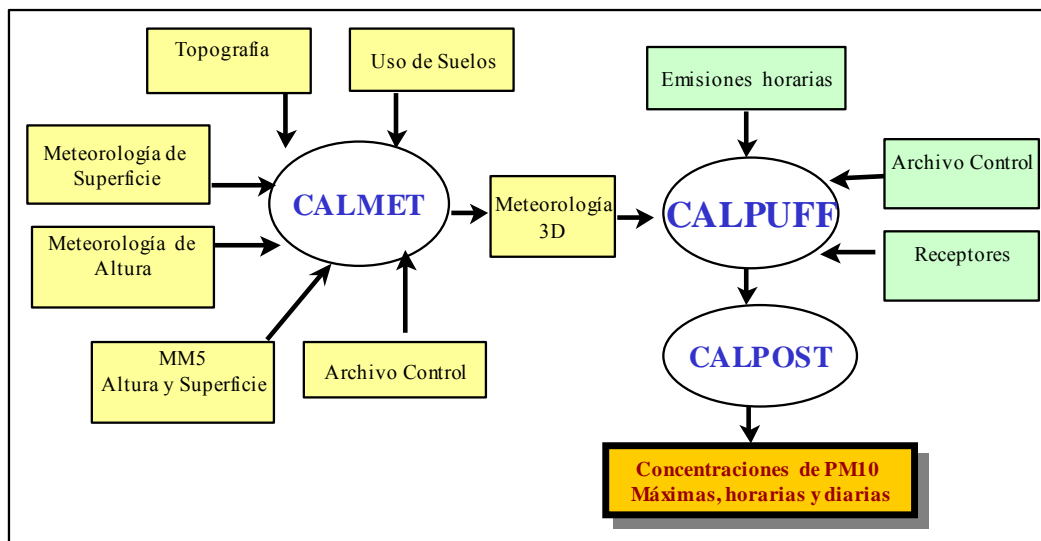


Figura 3.2 Esquema del sistema de modelación CALMET/CALPUFF

CALPUFF es un modelo tipo puff de estado no-estacionario, multicapa y multiespecies, que puede simular los efectos de varias condiciones meteorológicas sobre el transporte, transformación, difusión, y remoción de contaminantes en la atmósfera. La USEPA ha propuesto el sistema de modelamiento CALPUFF como guía para aplicaciones regulatorias, es decir, para ser aplicado en estudios y evaluaciones ambientales que consideren terrenos complejos, transporte en grandes distancias, y cumplimiento de normas de calidad del aire.

CALPUFF permite modelar fuentes puntuales (fuentes industriales y comerciales), de área (residenciales, quemas agrícolas, incendios forestales), lineales (fuentes móviles), y volumétricas (transferencia de materiales, incendios en edificios), y considera además emisiones no estacionarias, es decir, acepta emisiones que varíen temporalmente.

Las salidas de CALPUFF consisten en concentraciones en cada punto receptor ó en formato grillado, para cada hora de modelación. Además entrega resultados de depositación (seca, húmeda, total), así como estimaciones de visibilidad (coeficiente de extinción).



3.4 Selección del Modelo Fotoquímico

El modelo CAMx (Comprehensive Air quality Model with extensions), corresponde a un modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos de tipo Euleriano y fotoquímico, con el cual se pueden predecir las concentraciones de distintos elementos (gases y partículas) contaminantes de origen primario y secundario. CAMx requiere de un modelo meteorológico (MM5) para generar los campos 3-D de variables meteorológicas y un modelo de emisiones (SMOKE) que permita procesar (especificar, engrillar y temporalizar) los datos de un inventario de emisiones.

Para su aplicación, se debe crear una grilla sobre el área de estudio para dividirla en celdas de igual tamaño y en capas para poder abarcar el espacio requerido de la atmósfera. De esta forma se crea un dominio volumétrico conformado por un gran número de bloques sobre los cuales el modelo calcula las concentraciones de las distintas especies contaminantes. Este dominio permite evaluar episodios de contaminación desde una escala urbana hasta una escala regional.

Para la puesta en marcha del modelo, se requiere una gran cantidad de información de entrada que permita simular el escenario que se quiere evaluar (desde las características topográficas hasta las variables meteorológicas reinantes durante el período de modelación). Con ello, se generan las bases de datos que permiten ingresar tales características, sobre las cuales el modelo resuelve las distintas ecuaciones de transporte de especies, reacciones químicas y depositación de los contaminantes que se incluyen en el escenario a evaluar.

Las clases y tipos de datos de entrada que requiere el modelo CAMx, se presentan en la Tabla III.4.

Tabla III.4 Datos de entrada del modelo CAMx.

Clase de datos	Tipo de datos
Meteorológicos	<ul style="list-style-type: none">• Componentes horizontales del viento• Temperatura• Presión• Vapor de agua• Difusión vertical• Cobertura nubosa y lluvia
Calidad del aire	<ul style="list-style-type: none">• Concentración inicial de especies• Concentraciones de borde• Concentraciones de tope
Emisiones	<ul style="list-style-type: none">• Fuentes puntuales elevadas• Fuentes areales• Fuentes biogénicas• Fuentes móviles
Geográficas	<ul style="list-style-type: none">• Cobertura de uso de suelo• Albedo superficial
Otros	<ul style="list-style-type: none">• Estructura vertical de la grilla• Propiedades radiativas de la atmósfera (columna de ozono, neblina y tasas de fotólisis)



Para obtener estos datos de entrada, el modelo CAMx tiene compatibilidad con otros modelos que trabajan sobre las distintas clases de datos. Por ejemplo, los datos meteorológicos pueden ser obtenidos a través del modelo meteorológico MM5. En el caso de las emisiones, se pueden obtener a través del modelo SMOKE y los datos de calidad del aire a través del procesamiento de datos registrados en estaciones monitoras.

El modelo CAMx ha sido aprobado por la USEPA, y aplicado en varios países para la evaluación de contaminantes primarios y secundarios en zonas urbano regionales.



IV. SELECCIÓN DE EPISODIOS

4.1 Condiciones Meteorológicas sinópticas

El CENMA ha realizado mediciones de calidad del aire y meteorología para CONAMA IX, lo cual a dado origen a una serie de informes técnicos [2] cuyas principales conclusiones relacionadas con las condiciones meteorológicas sinópticas en periodo de invierno se resumen a continuación.

Las condiciones meteorológicas sinópticas generales de la IX Región donde se insertan las comunas de Temuco y Padre Las Casas, se caracterizan durante el período Invierno-Primavera, por el paso de sistemas frontales con frecuencia variable, y la incursión de masas de aire polar regularmente inestables que acompañan a dichos sistemas. La Alta Semipermanente del Pacífico Sur quiebra este esquema cuando alcanza latitudes mayores, ejerciendo una acción de bloqueo al paso de los frentes. Las características de las configuraciones sinópticas que se observan en la troposfera media, principalmente la alternancia en el paso de vaguada y dorsales, modulan en gran medida las condiciones meteorológicas que se registran en superficie [2].

En la Zona de latitudes medias donde está ubicado Temuco, el paso de sistemas frontales y la alternancia de vaguadas y dorsales en la troposfera media se produce más frecuentemente que en latitudes menores como Santiago ubicado a 33°S. Sin embargo, durante los episodios en Temuco se observan similitudes significativas respecto a las condiciones que, a escala sinóptica, conducen a situaciones de mala ventilación y dispersión de contaminantes en Santiago. El paso de altas frías al sector argentino, sincronizadas con la irrupción de una dorsal cálida en altura, aparece como una condición recurrente. En algunos casos excepcionales, la propagación de la baja costera alcanza la IX Región. Al irrumpir una dorsal cálida en altura, los procesos asociados a la misma, tales como movimientos de descenso de masas de aire, calentamiento por compresión adiabática y generación de una inversión de temperatura cercana a la superficie, están presentes, generando condiciones propicias para la generación de episodios de contaminación. El fin del episodio se produce normalmente asociado a la incursión del núcleo frío, entrada de nubosidad, cambio en la circulación del viento que se presenta con una componente Oeste predominante, aumento de la humedad relativa y del factor de ventilación. [2].

Por otra parte, el paso de altas frías migratorias al sector argentino genera a niveles bajos circulación del Este que encauzado por la topografía y reforzado por las brisas montaña-valle, parecen dar como resultante, principalmente en horas de la noche, componentes del Noreste, Norte e inclusive Noroeste.

Las mediciones meteorológicas realizadas en la ciudad de Temuco, junto con las de calidad de aire, muestran en julio y agosto (invierno) direcciones predominantes de viento provenientes del sector comprendido entre las direcciones ENE y NNE. Los meses de septiembre y octubre no muestran direcciones predominantes claramente establecidas, comportamiento propio de meses de transición hacia el ciclo de vientos de verano.

La dirección del viento en los meses de invierno no muestra una clara tendencia de direcciones predominantes durante el período diurno, mientras que en los meses de transición las direcciones predominantes del período diurno provienen del sector comprendido entre las direcciones WSW y SW. Para el período nocturno, en todos los meses se observan direcciones predominantes provienen del sector comprendido entre las direcciones NNW y NE.



Las velocidades de viento están en el rango de 1 a 2 [m/s] durante el período nocturno, mientras que en el período diurno tienen valores máximos promedios entre 2.5 y 3.2 [m/s].

La temperatura tiene comportamiento normal, con mínimas que ocurren cerca de las 8 h en los meses de invierno y cerca de las 6 h a partir de octubre, con valores comprendidos entre 4.5 y 8 [C]. Los valores máximos de temperatura se alcanzan entre las 15 y 16 h, con valores comprendidos entre 10.5 y 17 [C].

La humedad relativa presenta un comportamiento normal con valores nocturnos que oscilan en promedio entre 90 y 95 [%]. Los valores mínimos se alcanzan entre las 15 y 16 h, con valores que oscilan entre 60 y 72 [%].

La presión atmosférica tiene un ciclo diario bien definido con máximos que se alcanzan cerca del medio día y dos valores mínimos, el primero entre las 04:00 y 05:00 h, mientras que el segundo se alcanza entre las 15:00 y 16:00 h. Las variaciones temporales del ciclo diario promedio oscilan entre los 1008 y 1011 [hPa].

El análisis de las condiciones meteorológicas de escala sinóptica, muestra que los eventos de alta contaminación en Temuco están asociados a condiciones de régimen anticiclónico con desarrollo de vaguada costera y a situaciones pre-frontales, con características similares a las encontradas en la región de Santiago.

El análisis de trayectorias de masas de aire muestra que, en términos comparativos, los días con niveles más altos de contaminación, presentan una residencia mayor del aire asociada a vientos débiles, mientras que en días más limpios, la ventilación es mayor y la residencia menor.

El análisis de trayectorias de varios días de alta contaminación en meses de invierno muestra que las masas de aire provienen principalmente del sector ubicado hacia el norte y poniente de la estación de medición, con valores de MP2.5 cercanos a MP10, indicando un efecto importante de emisiones de procesos de combustión.

Un análisis de trayectorias para días de primavera (octubre), muestra que las masas de aire provienen del sector sur y sureste, con una proporción de MP2.5 mucho menor, indicando una probable contribución de procesos de levantamiento de polvo sobre PM10.



4.2 Análisis de la Calidad del Aire

Para la determinación de los episodios de modelación se realizó el análisis de la calidad del aire considerando los datos de concentración de PM10 registrados en la estación Las Encinas durante los años 2001 al 2004, y estación Padre Las Casas para los años 2003 y 2004. Este análisis consistió en determinar periodos de 2 o más días consecutivos con altas concentraciones de PM10. Es así como se seleccionaron los días en que las concentraciones de PM10 fueran mayores a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las Tablas IV.1 y IV.2 muestran los días consecutivos por año, en que la concentración diaria fue mayor que $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Las Encinas y Padre Las Casas, respectivamente.

Tabla IV.1 Episodios concentración $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ estación Las Encinas

Episodios	2001		2002		2003		2004		2004	
	Fecha	[]	Fecha	[]	Fecha	[]	Fecha	[]	Fecha	[]
1	15-abr	132	12-jun	165	09-jul	180	13-may	151	06-ago	124
	16-abr	202	13-jun	264	10-jul	167	14-may	144	07-ago	130
	17-abr	174	14-jun	212	11-jul	156	15-may	229	08-ago	121
					12-jul	321	16-may	215	09-ago	147
							17-may	183	10-ago	120
							18-may	201		
2	17-jun	124	21-jun	137	26-jul	142	10-jun	152		
	18-jun	188	22-jun	122	27-jul	133	11-jun	220		
	19-jun	214	23-jun	160	28-jul	127	12-jun	122		
	20-jun	133			29-jul	152				
	21-jun	231			30-jul	159				

Tabla IV.2 Episodios concentración $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ estación Padre Las Casas

Episodios	2003		2004	
	Fecha	[]	Fecha	[]
1	01-abr	141	13-may	176
	02-abr	123	14-may	187
			15-may	197
			16-may	145
			17-may	201
			18-may	150

Del análisis de concentraciones de PM10 mayores a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ realizado en ambas estaciones de monitoreo de calidad del aire (Tabla IV.1 y IV.2), se desprende que existen tanto en meses de otoño como invierno en todos los años analizados, 11 periodos de días consecutivos en que las concentraciones de partículas son superiores a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se observa además que en el año 2004 las estaciones Padre las Casas y Las Encinas registraron simultáneamente para un mismo periodo (13 al 18 de Mayo) concentraciones mayores a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Finalmente, los episodios seleccionados son:

- 1.- 13 al 18 de Mayo 2004
- 2.- 01 al 02 de Abril 2003
- 3.- 12 al 14 de Junio 2002
- 4.- 17 al 21 de Junio 2001

4.3 Condiciones meteorológicas adversas para dispersión

Sobre la base de la información disponible a escalas sinóptica, regional y local, apoyados por modelación meteorológica de mesoescala con el modelo MM5, se determinó la existencia de patrones sinópticos asociados a cada uno de los cuatro episodios de alta Contaminación seleccionados en 4.2.

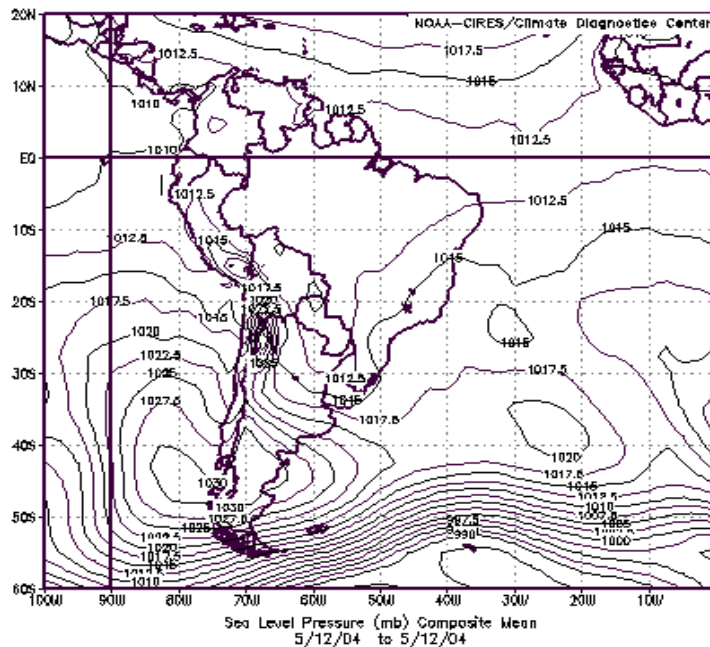
Para analizar las condiciones de estabilidad se utilizó la información de radiosondeo de Puerto Montt, ubicada a 250 Km al sur de Temuco, donde se efectúan mediciones una vez al día, a las 08 de la mañana (12UTC). Además se utilizaron las modelaciones de meteorología de mesoescala con MM5.

Las características que se presentaron en superficie y altura en Temuco en conexión con cada uno de los episodios, y sus días previos y posteriores, se detallan a continuación.

4.3.1 Condiciones sinópticas

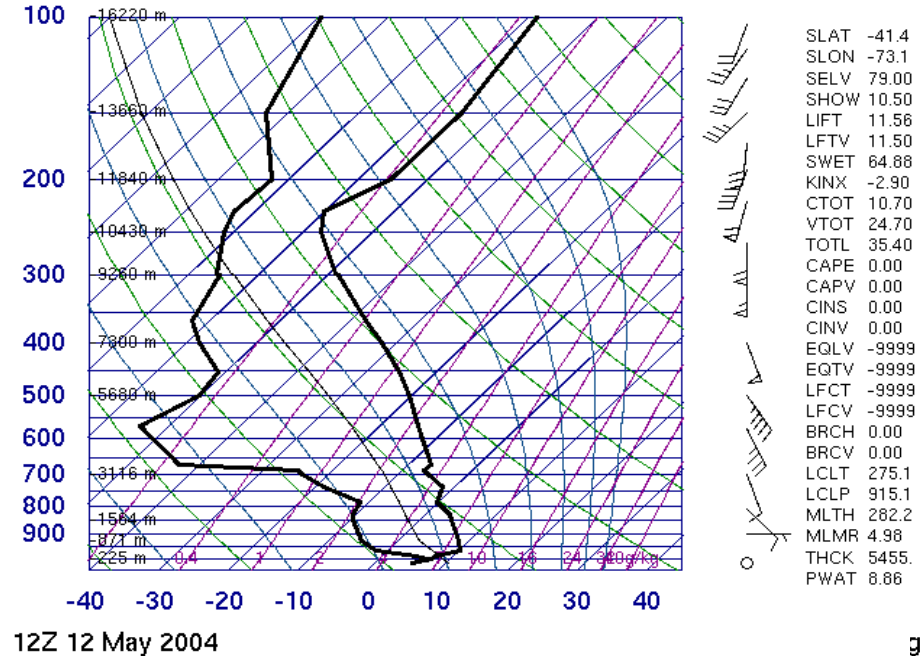
Episodio 1: 13 al 18 de Mayo 2004

A.- ANALISIS DE LA SITUACIÓN DEL 12 DE MAYO AL 18 DE MAYO 2004

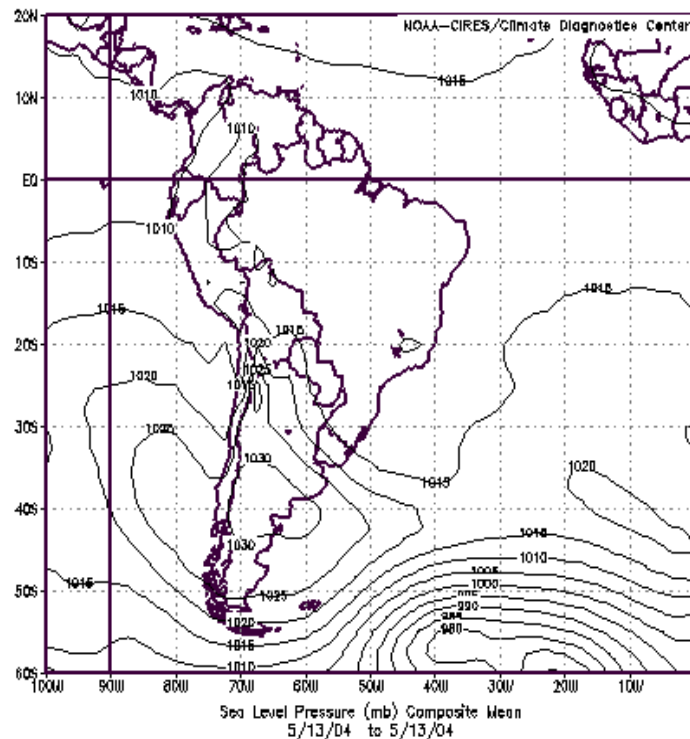




85799 SCTE Puerto Montt

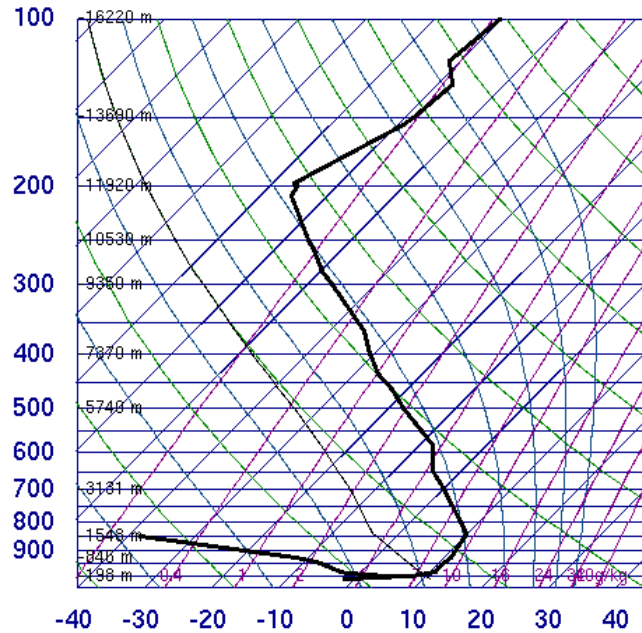


DIA 12 DE MAYO.- Obsérvese en el mapa de superficie la proyección del Anticiclón hacia el Atlántico generando una estrangulación en la IX Región dando origen a una circulación ciclónica la que produce vientos del Este como se observa en el sondeo hasta niveles bien altos, con subsidencia en los niveles bajos con una fuerte inversión térmica que produce gran estabilidad y mala ventilación.





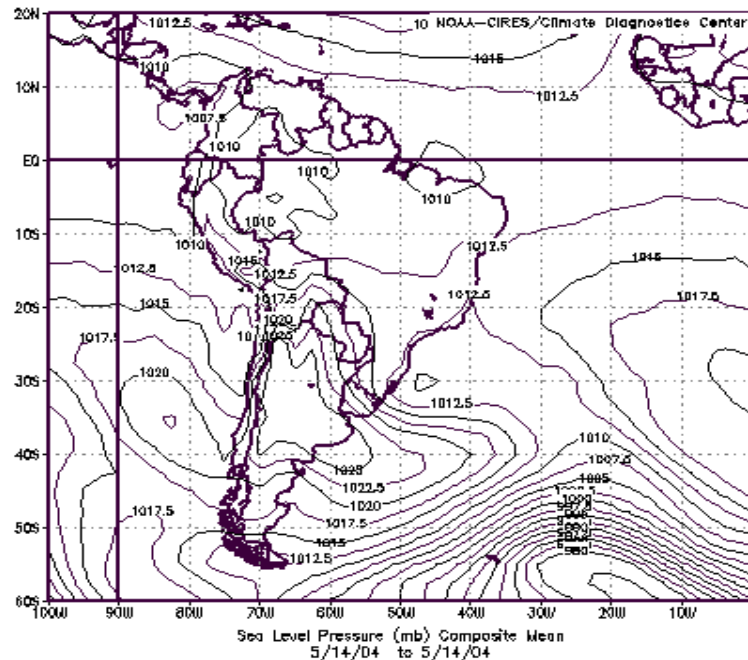
85799 SCTE Puerto Montt



SLAT	-41.4
SLOE	-73.1
SELV	79.00
SHOW	13.23
LIFT	16.30
LFTV	16.24
SWET	-9999
KINX	-9999
CTOT	-20.3
VTOT	27.70
TOTL	7.40
CAPE	0.00
CAPV	0.00
CINS	0.00
CINV	0.00
EQLV	-9999
EQTV	-9999
LFCT	-9999
LFCV	-9999
BRCH	-9999
BRCV	-9999
LCLT	269.2
LCLP	838.7
MLTH	283.1
MLMR	3.56
THCK	554.2
PWAT	3.48

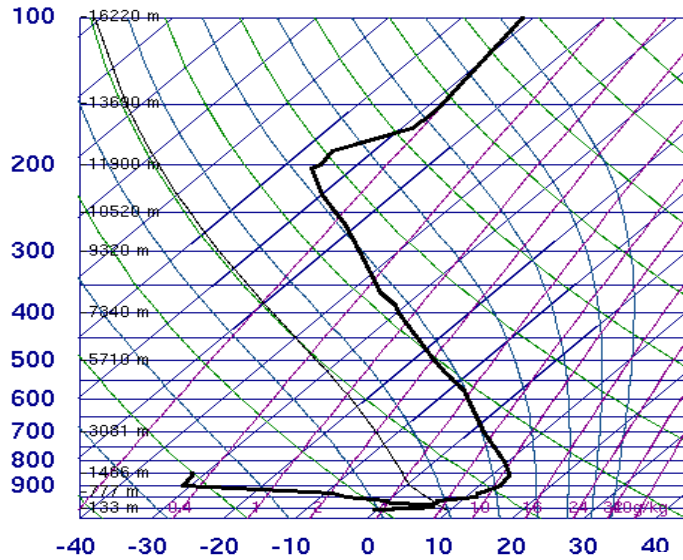
12Z 13 May 2004

DIA 13 DE MAYO.- Claramente desarrollado el efecto de subsidencia el que alcanza hasta la superficie con aire bastante seco hasta gran altura, según se desprende del sondeo. La vaguada costera se observa claramente en la situación que grafica el mapa de superficie.





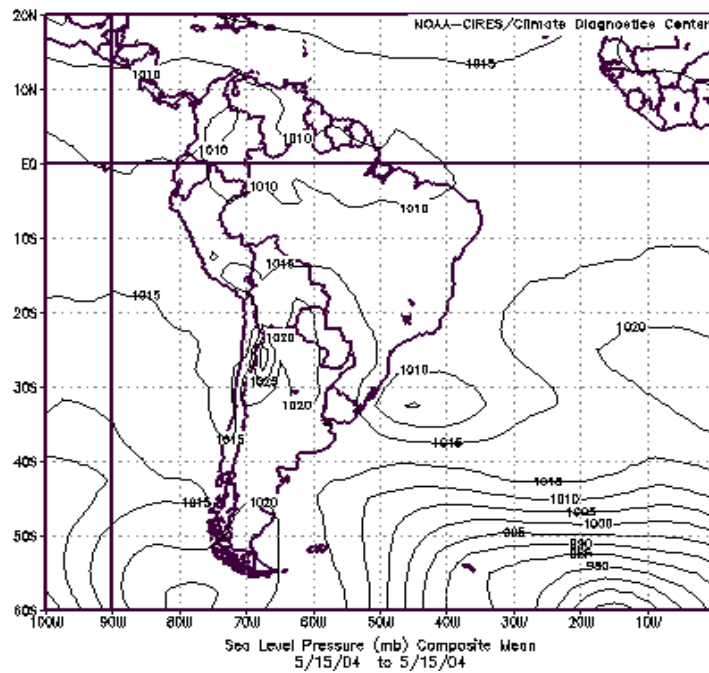
85799 SCTE Puerto Montt



SLAT	-41.4
SLON	-73.1
SELV	79.00
SHOW	12.06
LIFT	16.29
LFTV	16.22
SWET	47.01
KINX	-9999
CTOT	-14.9
VTOT	29.10
TOTL	14.20
CAPE	0.00
CAPV	0.00
CINS	0.00
CINV	0.00
EQLV	-9999
EGTV	-9999
LFCT	-9999
LFCV	-9999
BRCH	0.00
BRCV	0.00
LCLT	273.0
LCLP	893.1
MLTH	282.0
MLMR	4.42
THCK	5577.
PWAT	3.52

12Z 14 May 2004

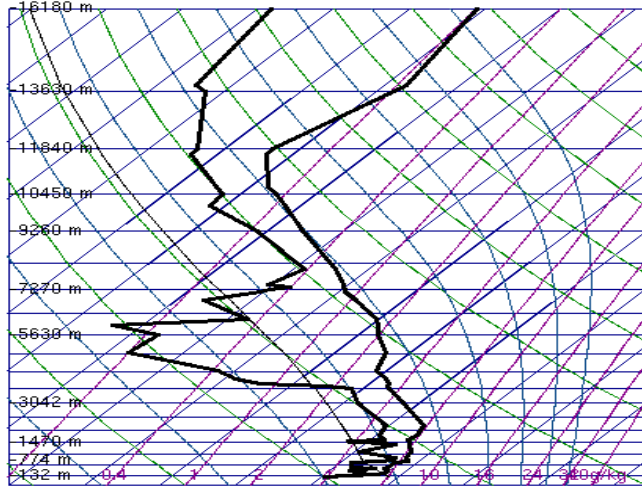
DIA 14 DE MAYO.- Situación similar al día anterior con una gran inversión térmica de subsidencia que alcanza niveles bien bajos.





85799 SCTE Puerto Montt

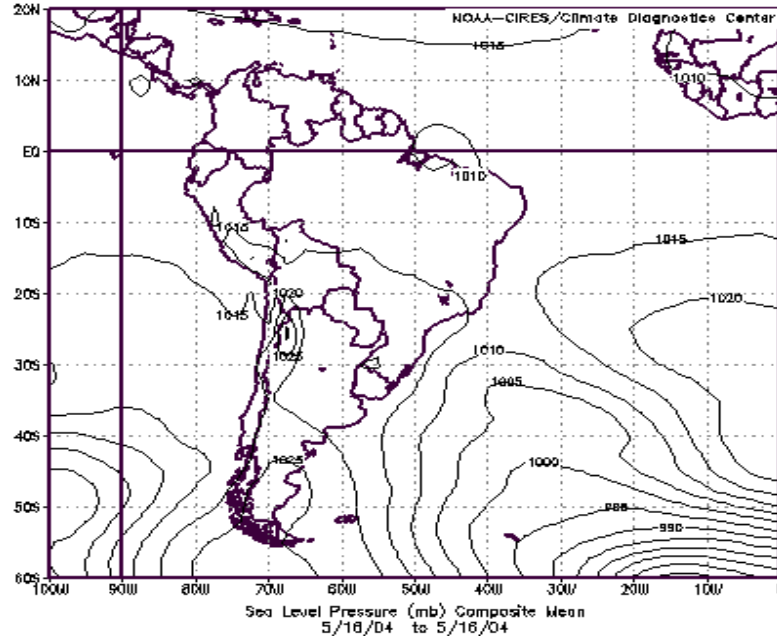
100
200
300
400
500
600
700
800
900



SLAT	-41.4
SLON	-73.1
SELV	79.00
SHOW	8.29
LIFT	14.92
LFTV	14.87
SWET	-9999
KINX	16.50
CTOT	16.90
VTOT	22.90
TOTL	39.80
CAPE	0.00
CAPV	0.00
CINS	0.00
CINV	0.00
EGLV	-9999
EGTV	-9999
LFCT	-9999
LFCV	-9999
BRCB	-9999
BRCV	-9999
LCLT	275.8
LCLP	932.3
MLTH	281.4
MLMR	5.03
THCK	5498.
PWAT	17.44

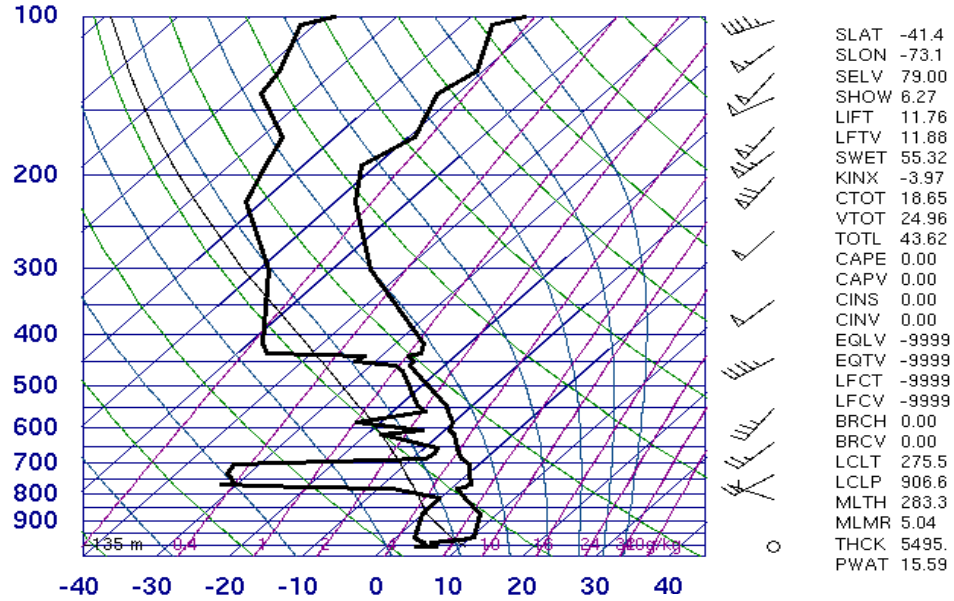
12Z 15 May 2004

DIA 15 DE MAYO.- El Anticiclón se ha debilitado respecto del día anterior y esto se refleja muy bien en el sondeo en el que se aprecia el término de la inversión térmica y un aumento de la humedad del aire.



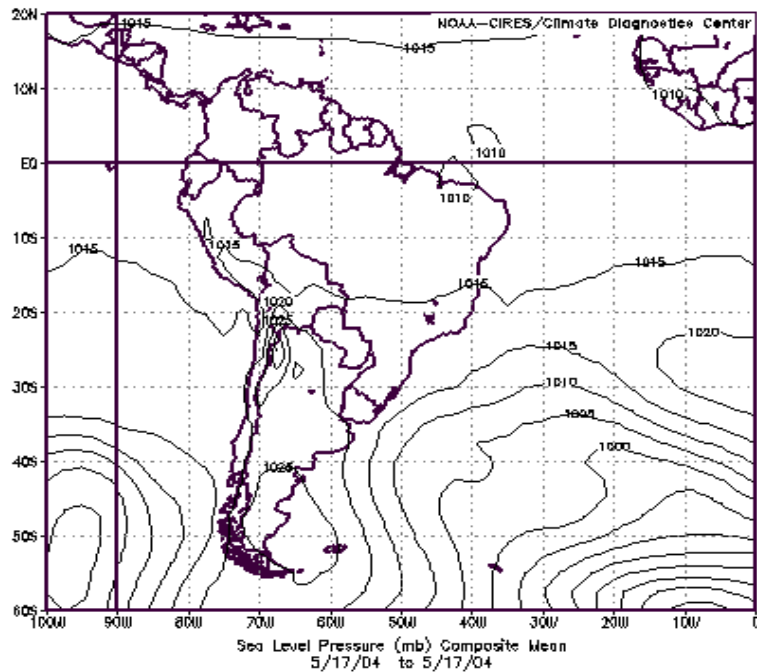


85799 SCTE Puerto Montt



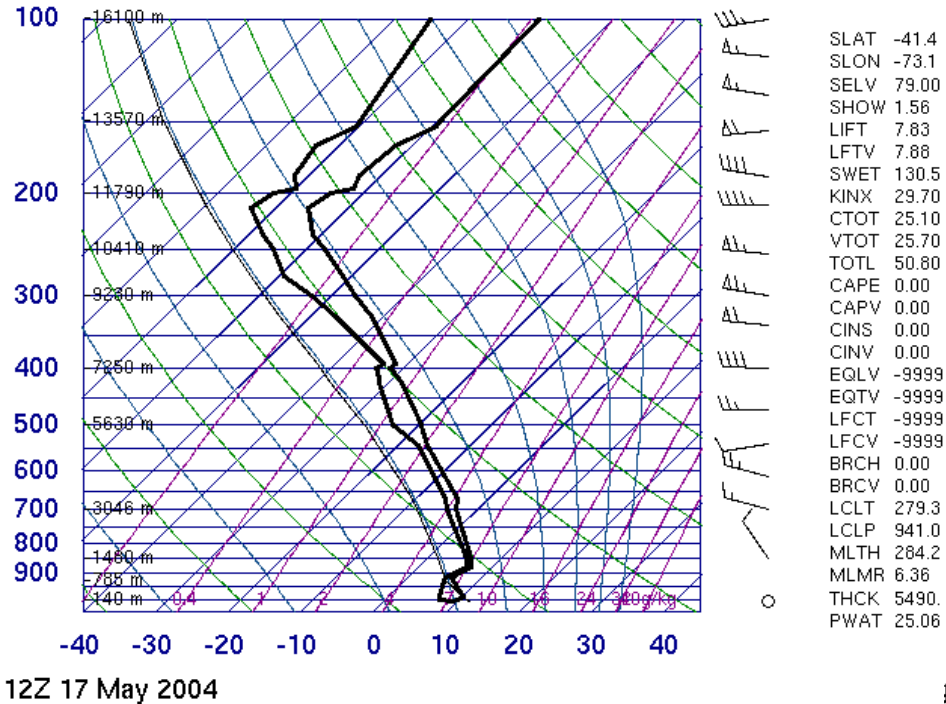
12Z 16 May 2004

DIA 16 DE MAYO.- El Anticiclón se retira de la costa en la IX Región dando paso al flujo del Oeste. El efecto del flujo del Este desaparece y no se observa calentamiento adiabático.

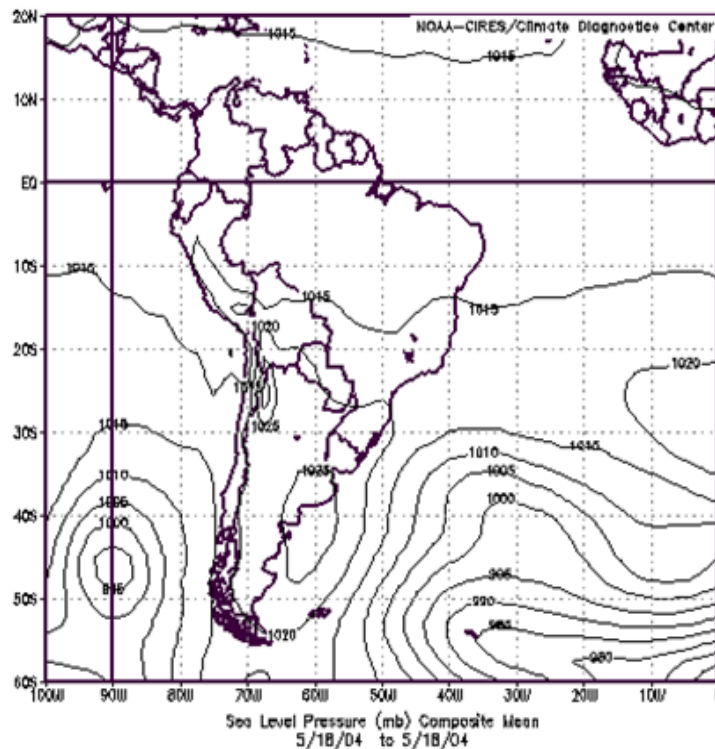




85799 SCTE Puerto Montt

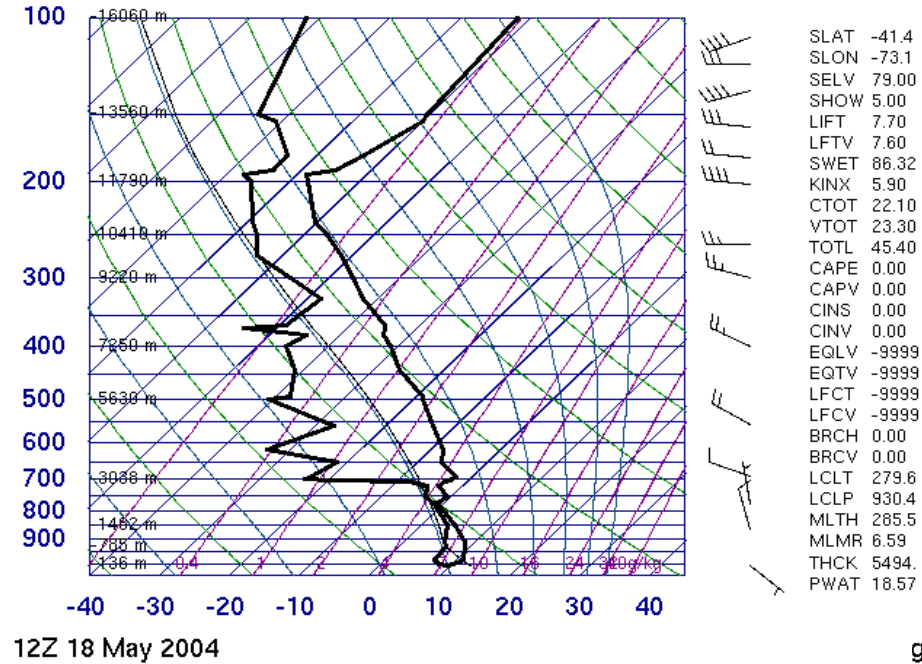


DIA 17 DE MAYO.- Se observa la entrada de un sistema frontal con una masa muy húmeda, en donde aparece una inversión frontal alrededor de los 1000 mts, lo que podría corresponder al borde norte del sistema frontal.





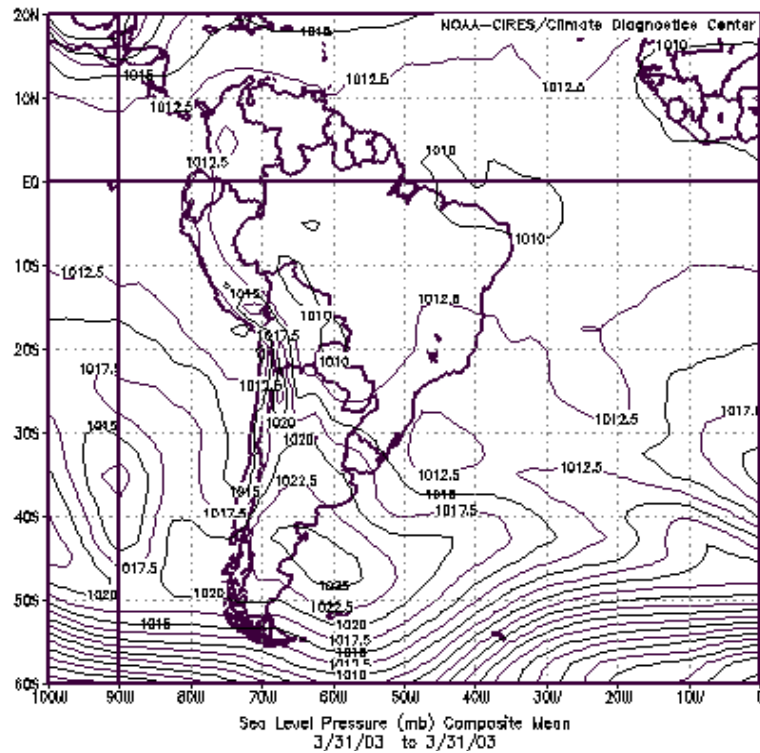
85799 SCTE Puerto Montt



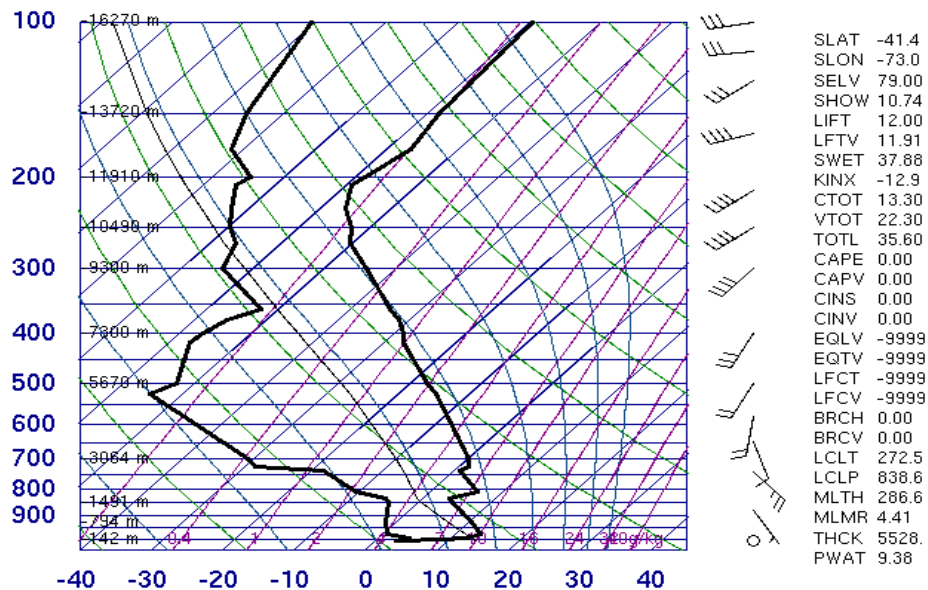
DIA 18 DE MAYO.- En los niveles bajos esta presente una masa de aire húmeda hasta los 2500 mts aproximadamente con flujo del norte asociados a una circulación ciclónica correspondiente a un sistema de bajas presiones que se observa frente a las costas de la zona sur del país. Por sobre esta masa húmeda existe una inversión de subsidencia típica de la pasada de un sistema frontal.



B.- ANALISIS DE LA SITUACIÓN DEL 31 DE MARZO AL 03 DE ABRIL 2003

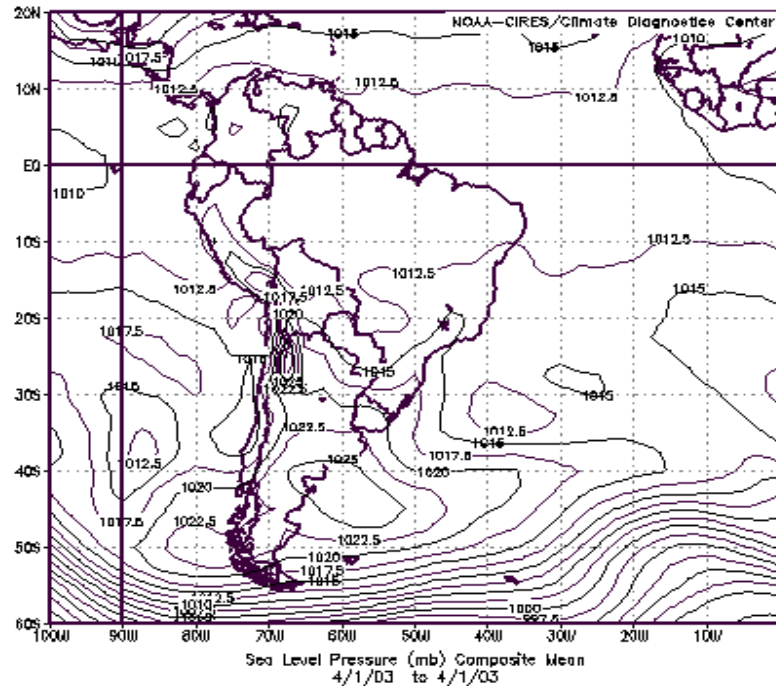


85799 SCTE Puerto Montt

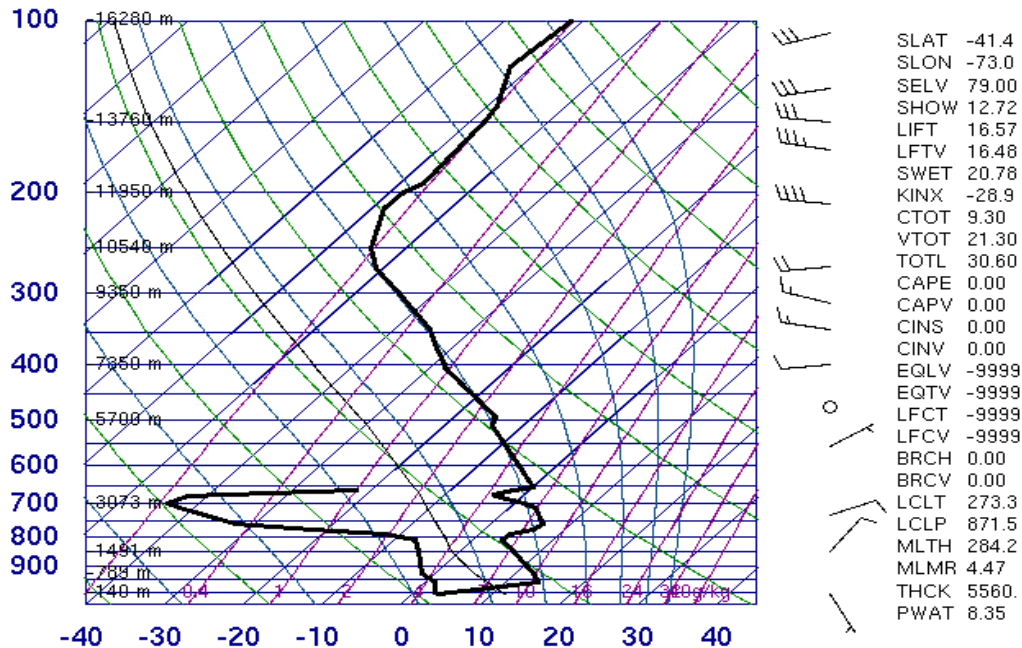


12Z 31 Mar 2003

DIA 31 MARZO.- La vaguada costera se encuentra en pleno desarrollo con el efecto de subsidencia que alcanza casi en superficie observándose el efecto de calentamiento del viento del este hasta los 600 mts de altura aproximadamente. Obsérvese la presencia de una alta profunda en el Atlántico que refuerza el efecto de la vaguada costera.

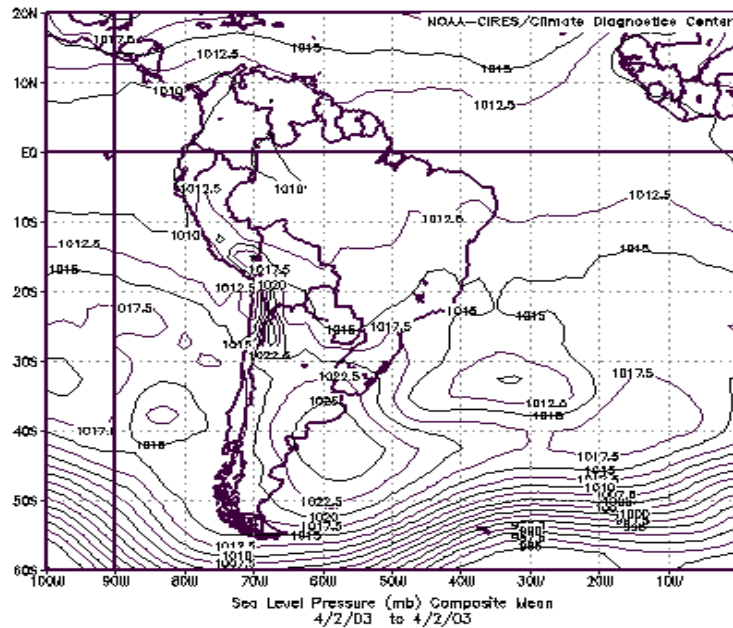


85799 SCTE Puerto Montt

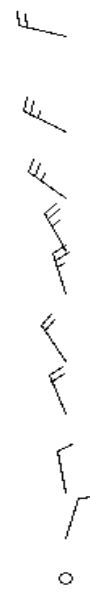
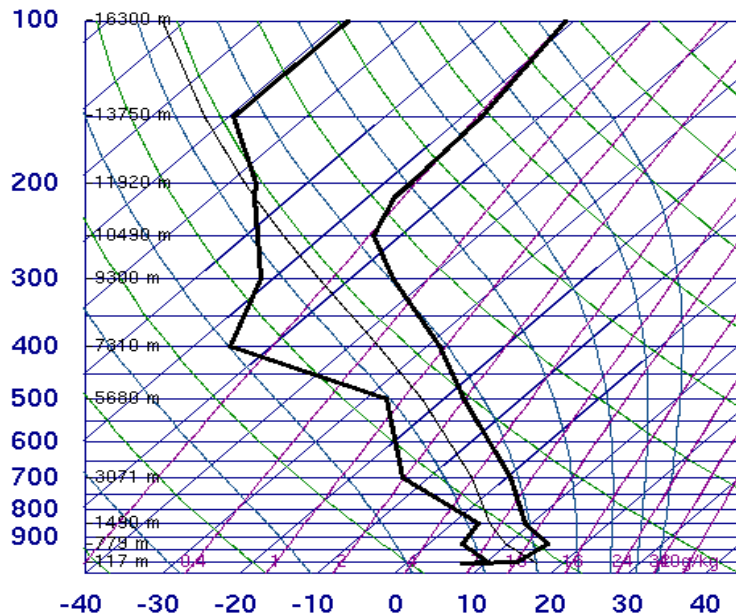


12Z 01 Apr 2003

DIA 01 ABRIL.- Situación similar al día anterior con un refuerzo del efecto del viento del Este el que incrementa el calentamiento adiabático y por ende refuerza la inversión de subsidencia. Esta situación es típica de un evento de mala ventilación para todo el sector de la IX Región.



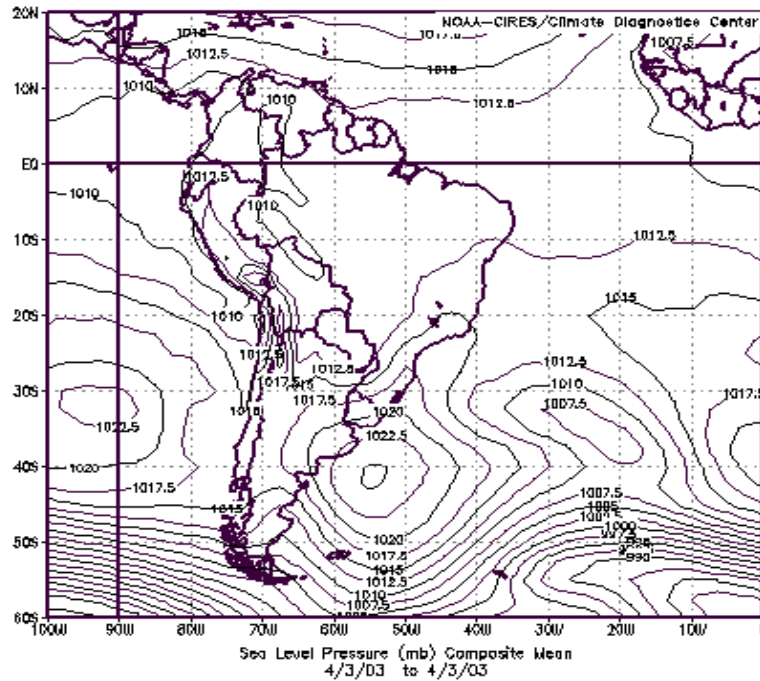
85799 SCTE Puerto Montt



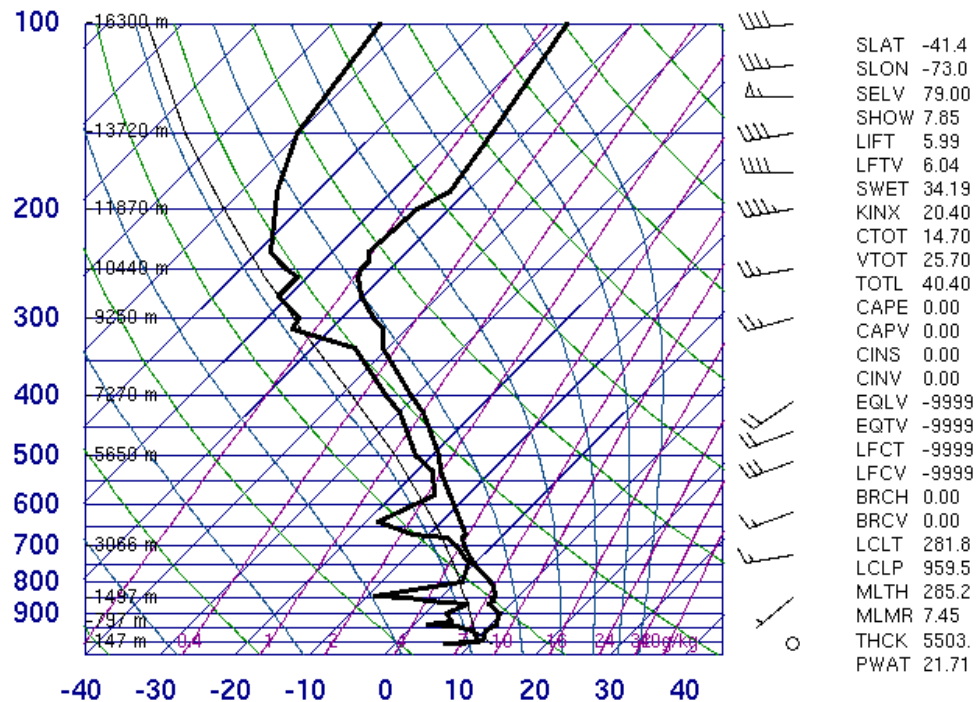
SLAT	-41.4
SLOn	-73.0
SELV	79.00
SHOW	3.40
LIFT	5.40
LFTV	5.34
SWET	78.22
KINX	15.70
CTOT	20.50
VTOT	26.50
TOTL	47.00
CAPE	0.00
CAPV	0.00
CINS	0.00
CINV	0.00
EQLV	-9999
EQTV	-9999
LFCT	-9999
LFCV	-9999
BRCH	0.00
BRCV	0.00
LCLT	279.9
LCLP	890.6
MLTH	289.4
MLMR	7.05
THCK	5563
PWAT	18.97

12Z 02 Apr 2003

DIA 02 ABRIL.- Se debilita la subsidencia debido al término de la vaguada costera. Desaparece el viento del Este y por lo mismo se debilita la inversión térmica, permitiendo una mayor ventilación.



85799 SCTE Puerto Montt

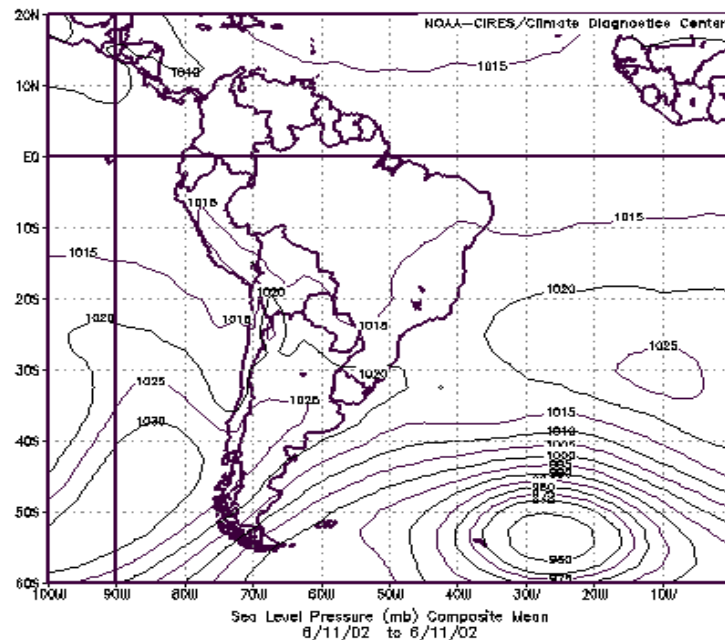


12Z 03 Apr 2003

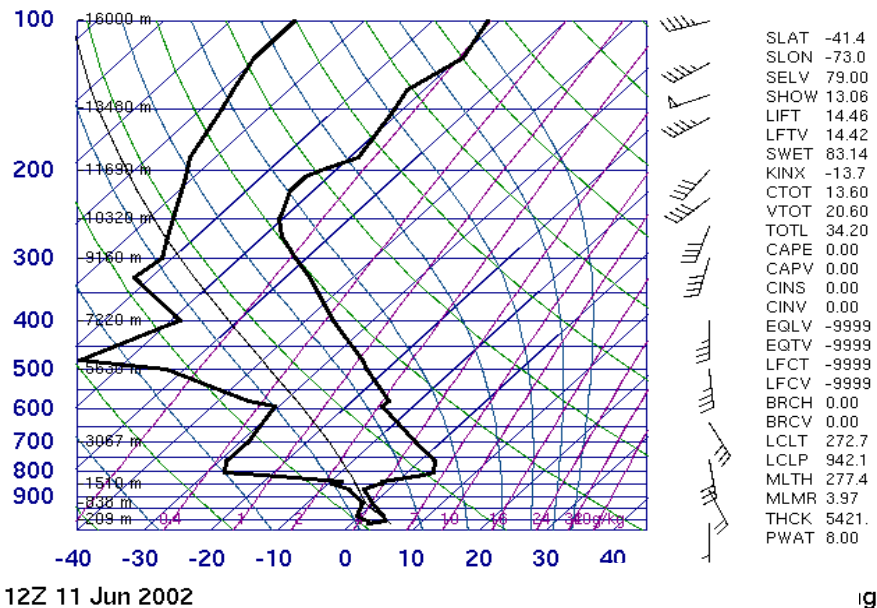
DIA 03 DE ABRIL.- El Anticiclón se ha debilitado en la zona permitiendo la entrada del flujo del Oeste generando una ventilación adecuada. Desaparece la subsidencia y la sequedad del aire en los niveles bajos.



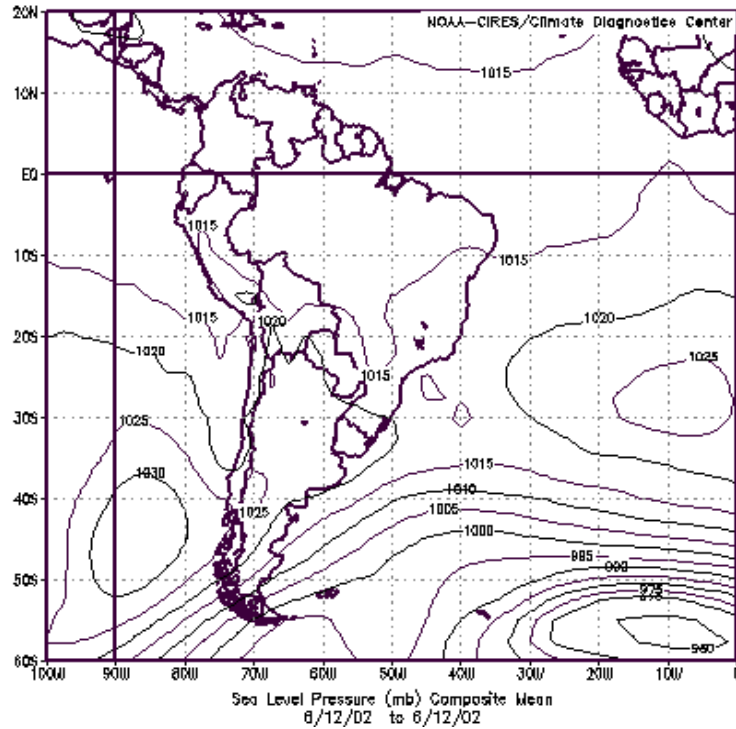
C.- ANALISIS SITUACIÓN DEL 11 AL 16 DE JUNIO DE 2002



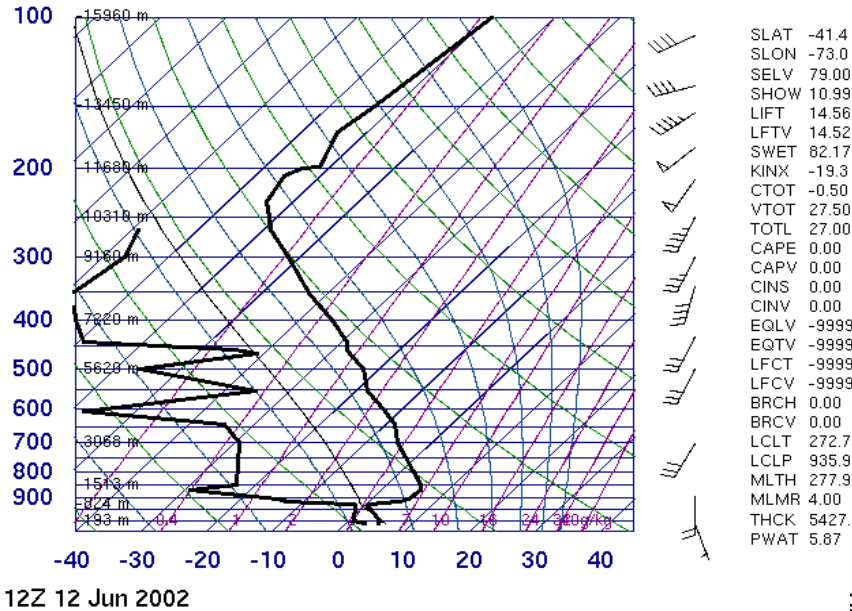
85799 SCTE Puerto Montt



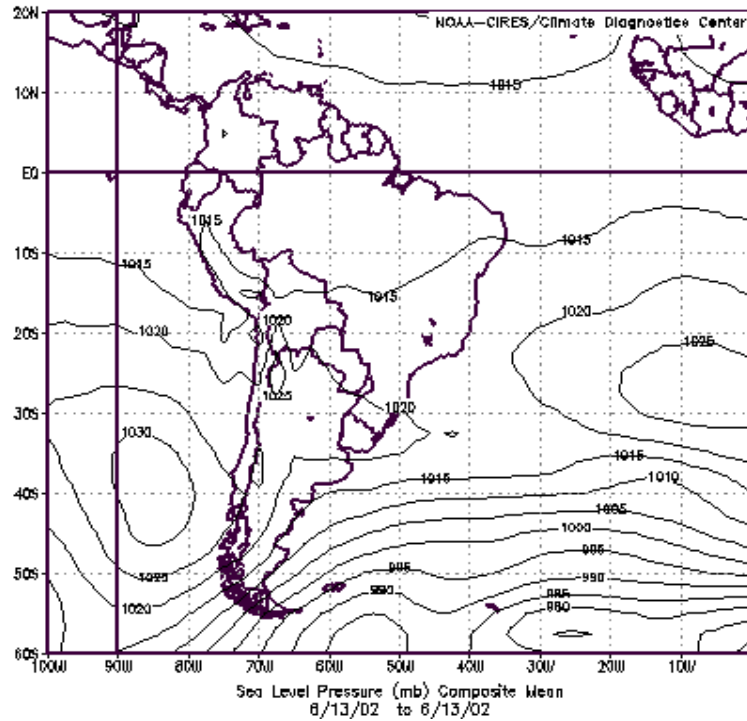
DIA 11 DE JUNIO.- En el mapa de superficie se observa claramente la incursión de una vaguada costera ingresando a la IX Región. Esto queda corroborado en el sondeo en el que se aprecia una capa de bastante humedad desde superficie hasta los 1500 metros aproximadamente. En altura se observa el efecto de subsidencia generado por el flujo del Este.



85799 SCTE Puerto Montt

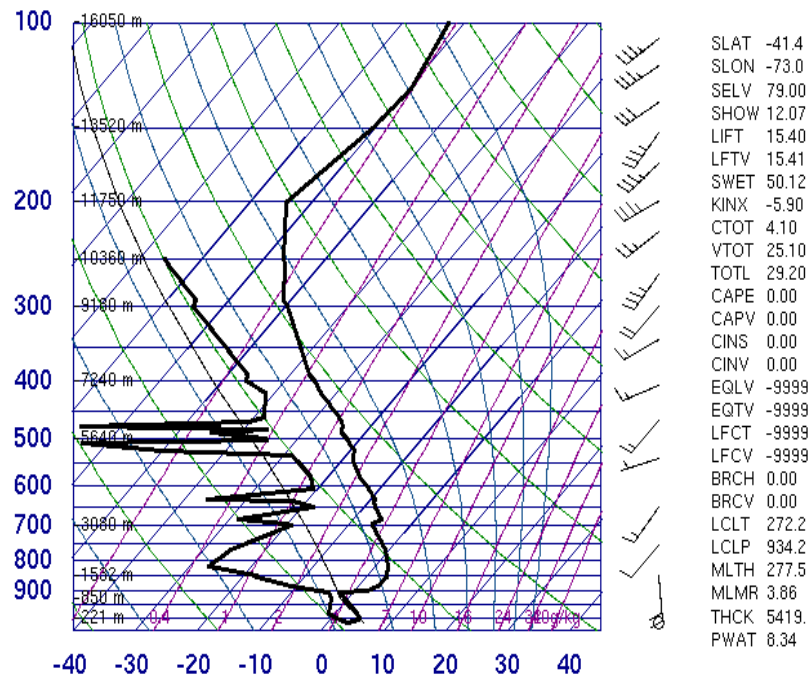


DIA 12 DE JUNIO.- El efecto de la vaguada costera se ha desplazado más al sur, situación que se observa mejor en el sondeo del día en que la subsidencia y efecto de calentamiento adiabático se proyecta hasta los 1000 mts aproximadamente, reduciéndose la capa húmeda tanto en humedad como en altura. El flujo de viento es del sureste con menor intensidad.



DIA 13 DE JUNIO.- El efecto de la vaguada costera se encuentra en su etapa de mayor desarrollo latitudinal donde los vientos son muy débiles ya que el gradiente bórico es pequeño. No hay sondeo de ese día.

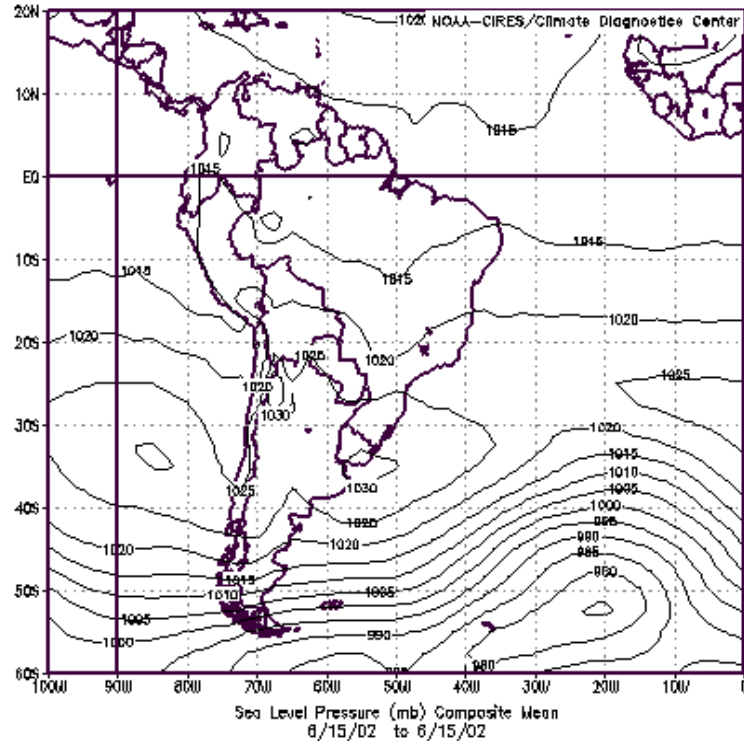
85799 SCTE Puerto Montt



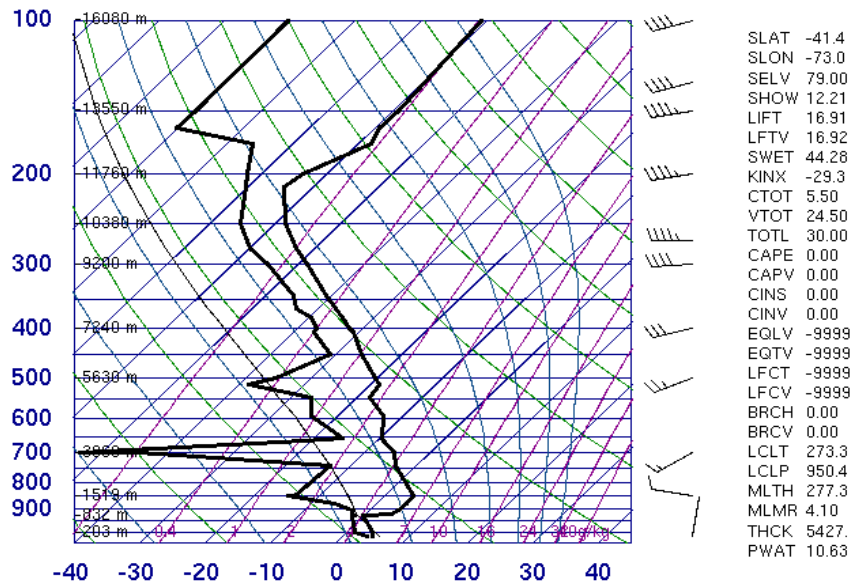
12Z 14 Jun 2002



DIA 14 DE JUNIO.- Se debilita el efecto de sotavento, la inversión de subsidencia sube al nivel de 1200 mts aproximadamente y el viento deja de tener componente del Este. No hay mapa de superficie de este día.



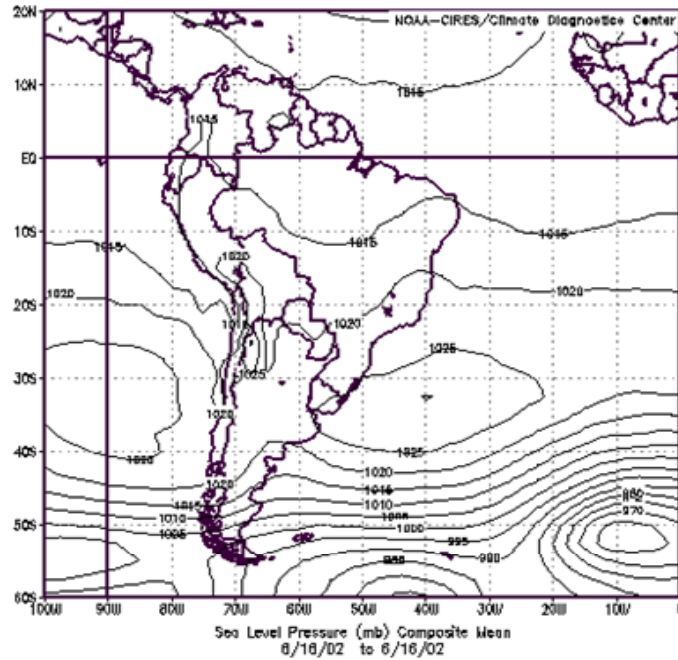
85799 SCTE Puerto Montt



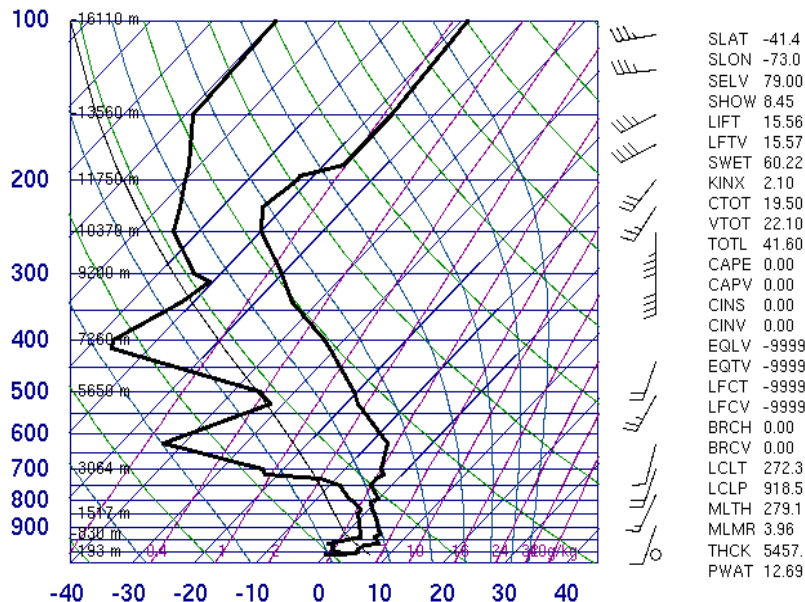
12Z 15 Jun 2002



DIA 15 DE JUNIO.- En el mapa de superficie y el sondeo se puede observar el debilitamiento del anticiclón del Pacífico, disminuyendo claramente el efecto de la vaguada. La subsidencia es débil y la atmósfera se hace más húmeda.



85799 SCTE Puerto Montt



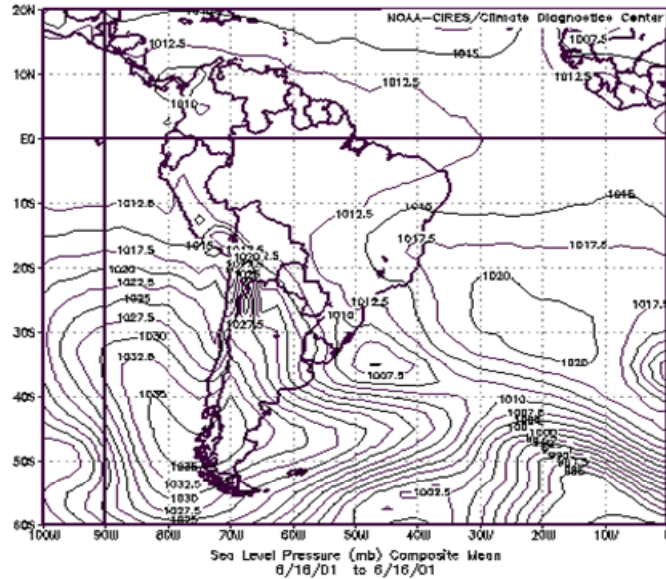
12Z 16 Jun 2002

3

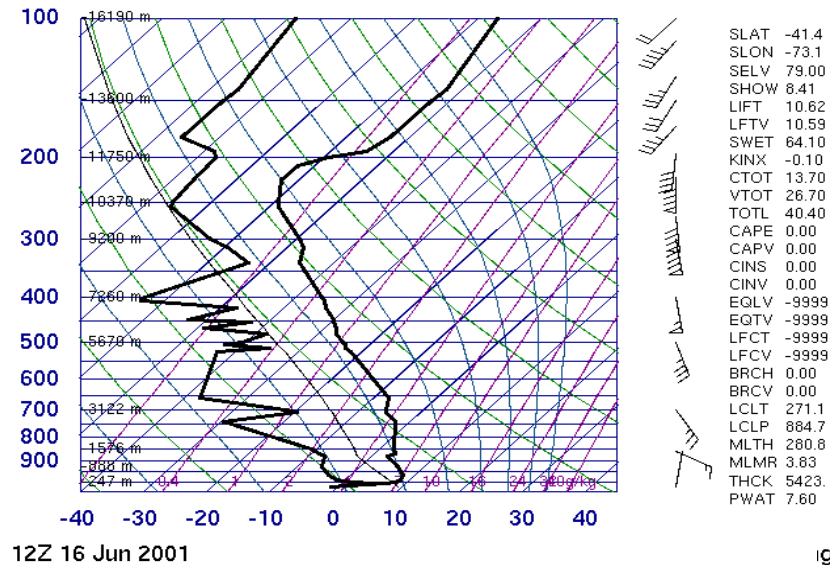
DIA 16 DE JUNIO.- No se refleja el efecto de la alta en el mapa de superficie y en el sondeo desaparece la subsidencia en los niveles bajos elevándose por sobre los 3000 mts aproximadamente.



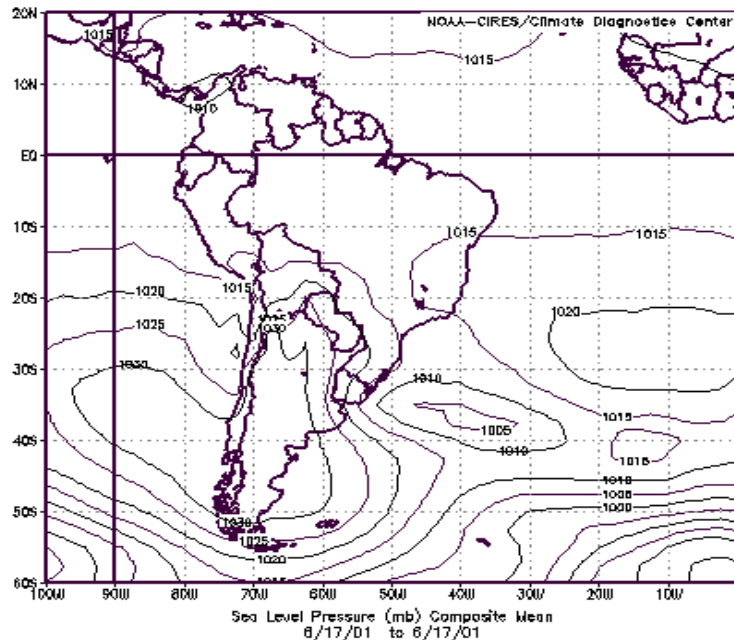
D.- ANALISIS SITUACIÓN DEL 16 AL 22 DE JUNIO DE 2001



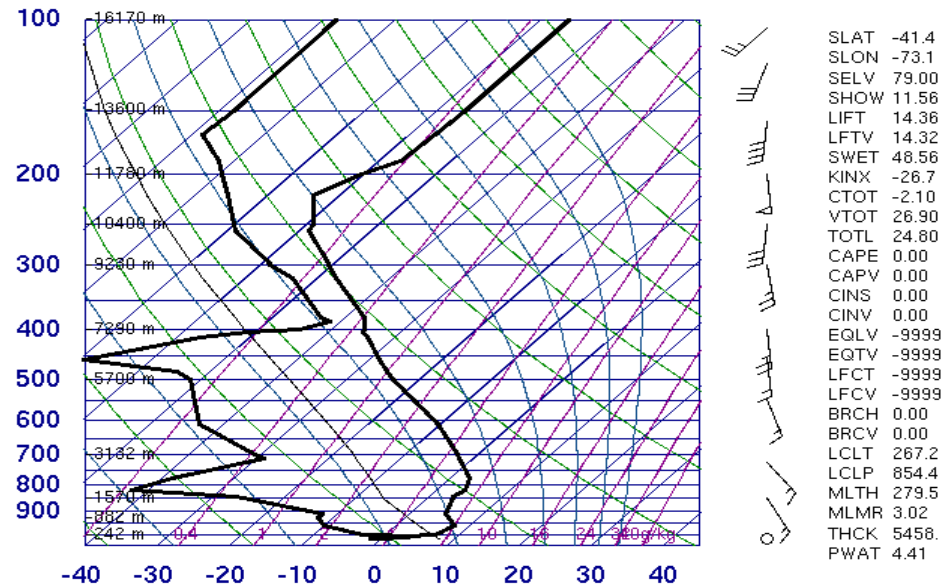
85799 SCTE Puerto Montt



DIA 16 JUNIO.- Se puede apreciar la incursión del viento del Este hasta los 3000 mts aproximadamente con una inversión de subsidencia producto del anticiclón y el efecto de la vaguada costera. El Anticiclón es bastante profundo con presión sobre los 1030 mbs. en superficie, el que se extiende en casi toda la troposfera.

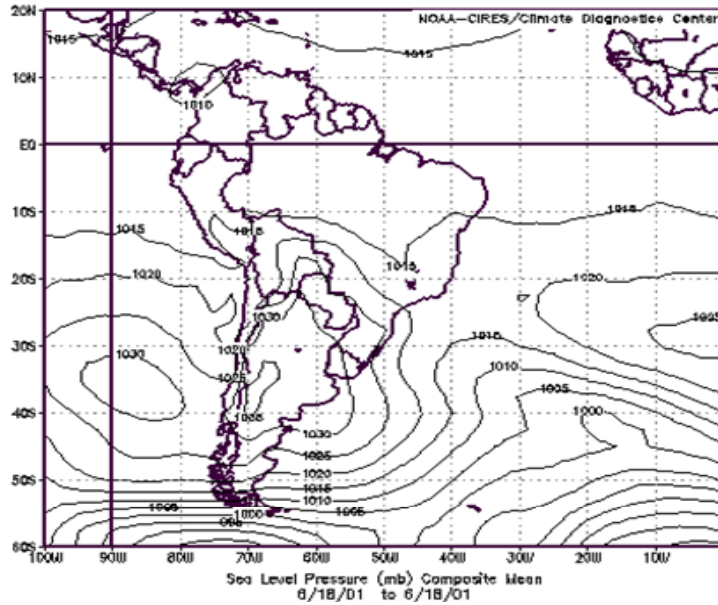


85799 SCTE Puerto Montt

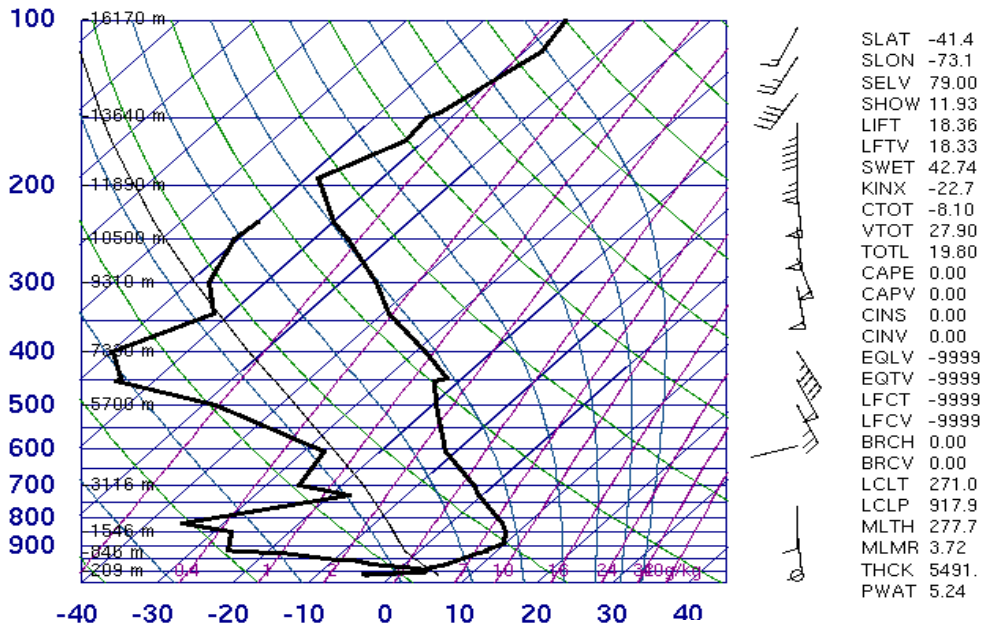


12Z 17 Jun 2001

DIA 17 JUNIO.- Durante este día la situación anticiclónica se profundiza con vientos con componente Este hasta los 4000 mts aproximadamente, con una inversión térmica bien marcada y una condición de vaguada en pleno desarrollo sobre la IX Región. La Estabilidad Atmosférica está bien definida con una capa de mezcla de muy poca altura.

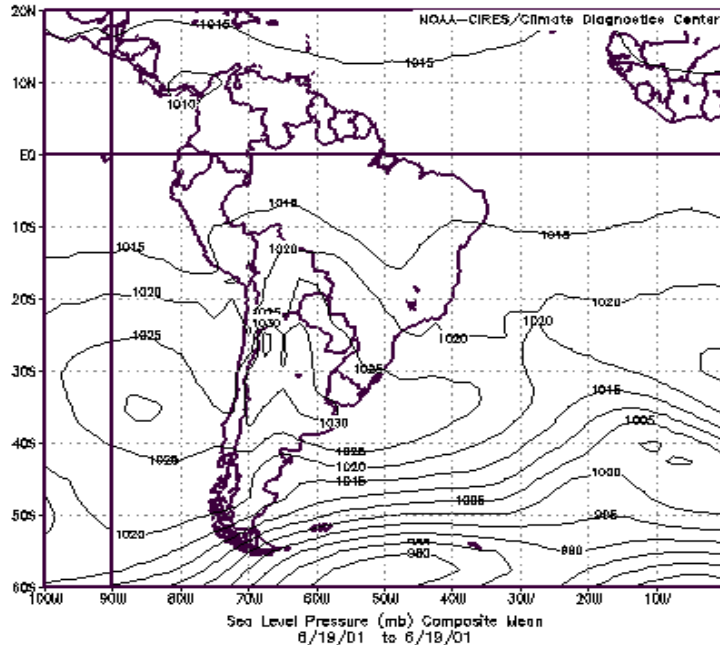


85799 SCTE Puerto Montt

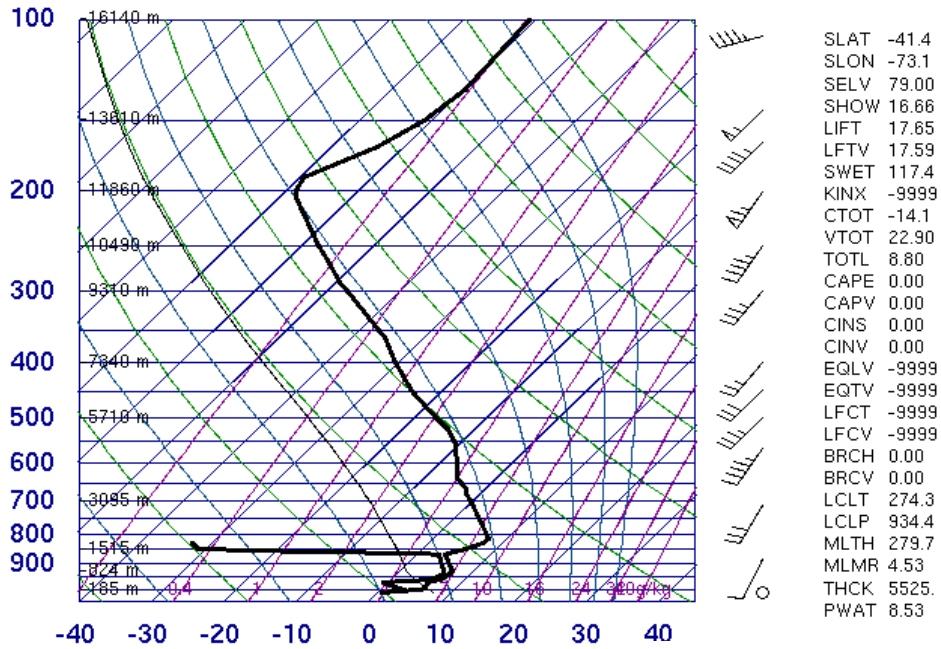


12Z 18 Jun 2001

DIA 18 JUNIO.- Condición similar al día anterior, pero con una capa húmeda en los niveles bajos que señala la presencia de la baja costera en los niveles de la atmósfera por debajo de los 800 mts aproximadamente. El viento es del Este entre 2000 y 4000 mts generando una capa seca y estable por sobre la superficie que impide la ventilación.

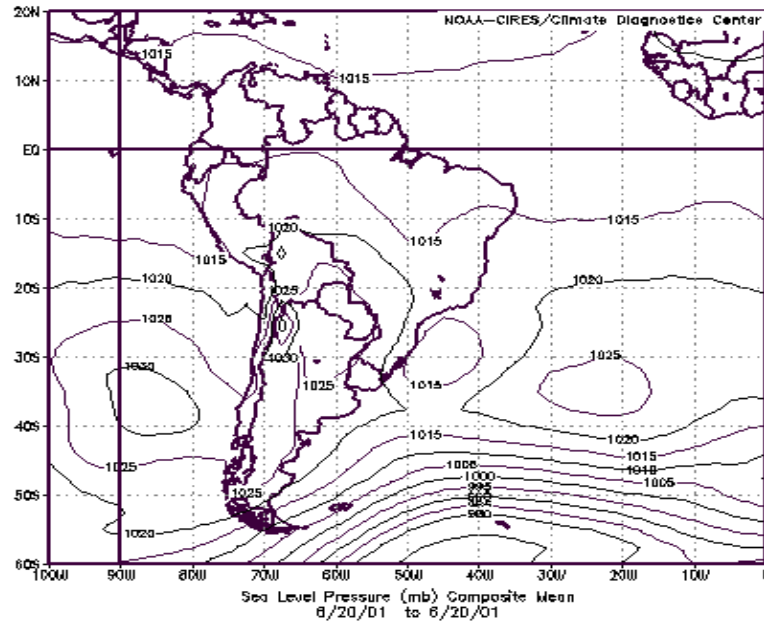


85799 SCTE Puerto Montt

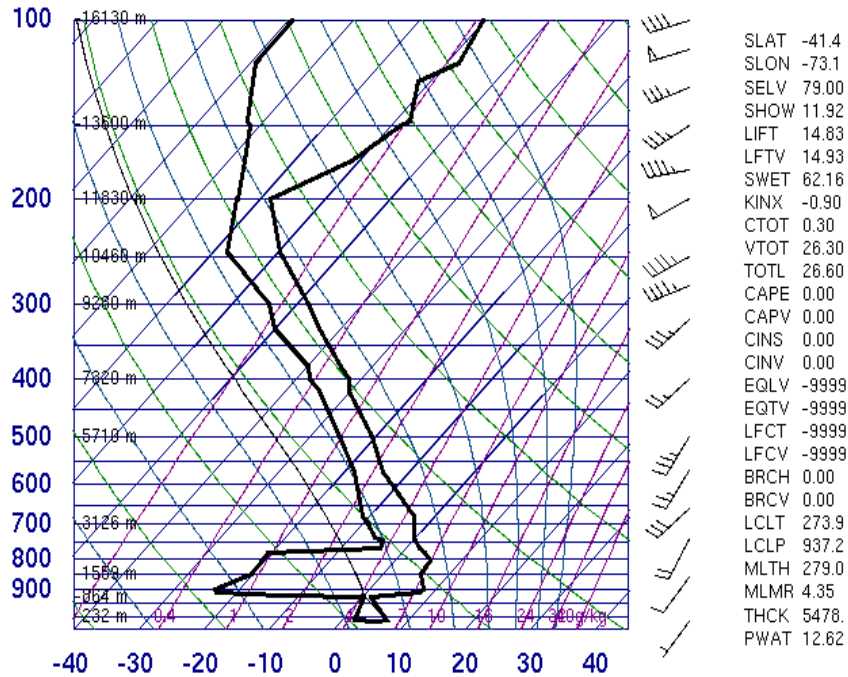


12Z 19 Jun 2001

DIA 19 JUNIO.- Se observa el debilitamiento del Sistema anticiclónico en superficie y la inversión de subsidencia se eleva a los 1500 mts aproximadamente. Desaparece el viento del Este y la presencia de sistema ciclónico costero se encuentra en su etapa final con vientos del Oeste y una capa nubosa de estratos propia de la fase final de la vaguada.

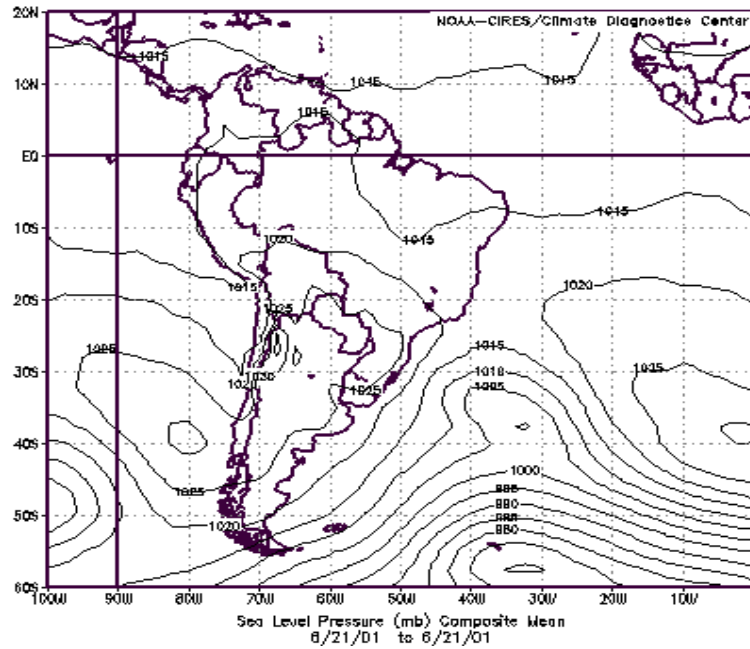


85799 SCTE Puerto Montt

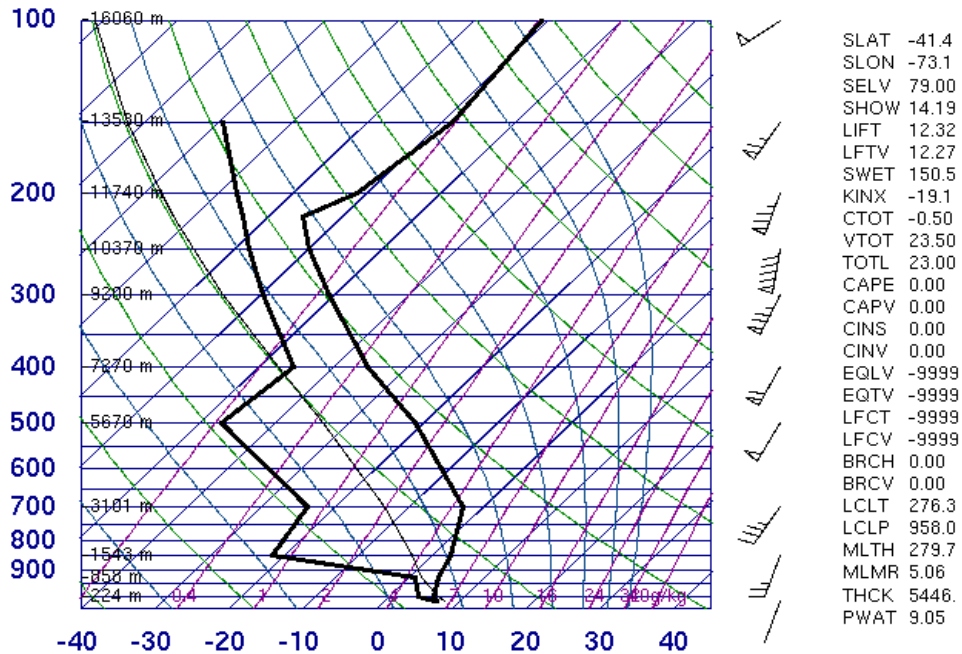


12Z 20 Jun 2001

DIA 20 JUNIO.- Se puede observar una capa muy estable con una inversión térmica de subsidencia en torno a los 800 mts y que alcanza una altura de 2300 mts aproximadamente lo que da cuenta de una condición de poca ventilación.

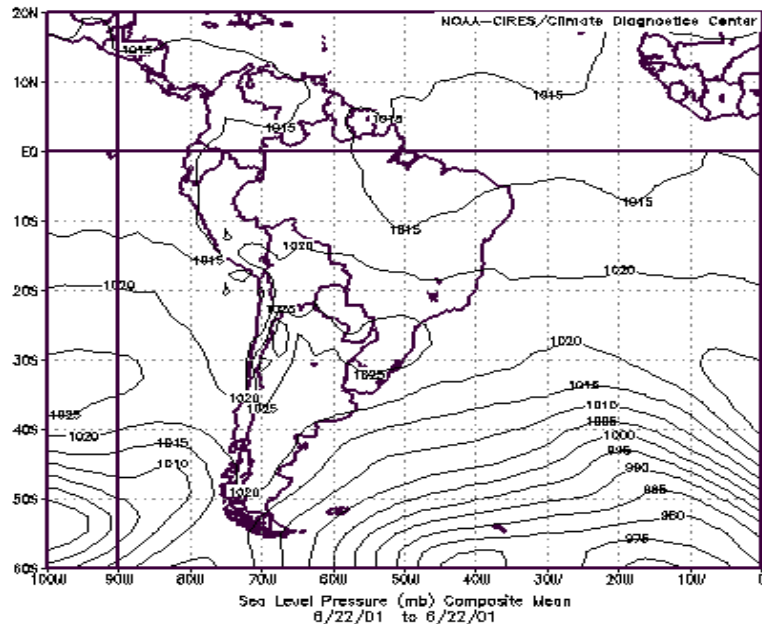


85799 SCTE Puerto Montt

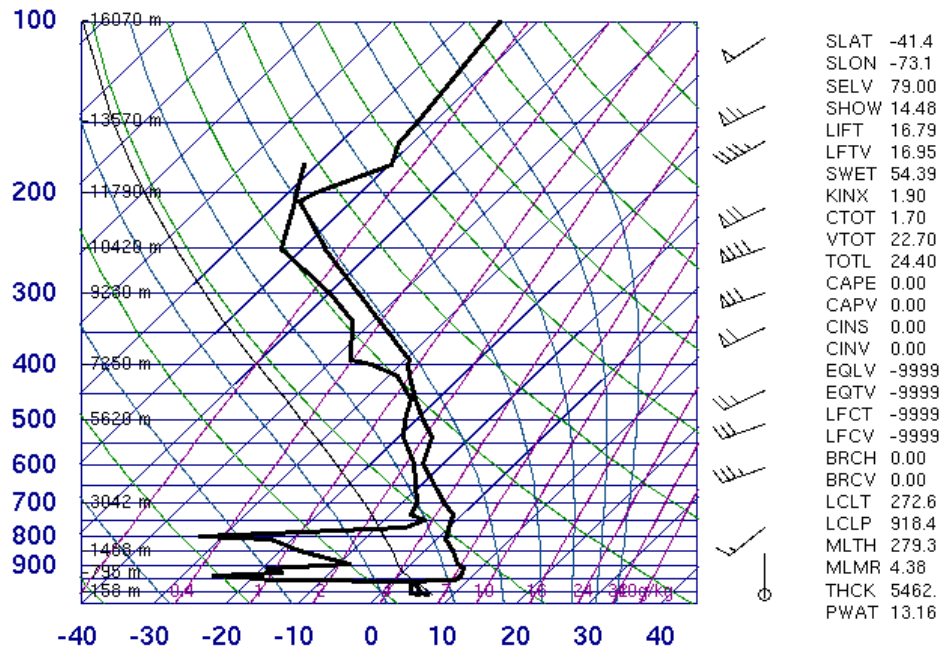


12Z 21 Jun 2001

DIA 21 JUNIO.- Para ésta situación se puede señalar que existe un reforzamiento del Anticiclón desapareciendo el efecto de la vaguada en superficie, proyectándose la inversión a niveles más bajos que el día anterior. La capa Estable alcanza mayor altura, generando un grado de estabilidad atmosférica mayor.

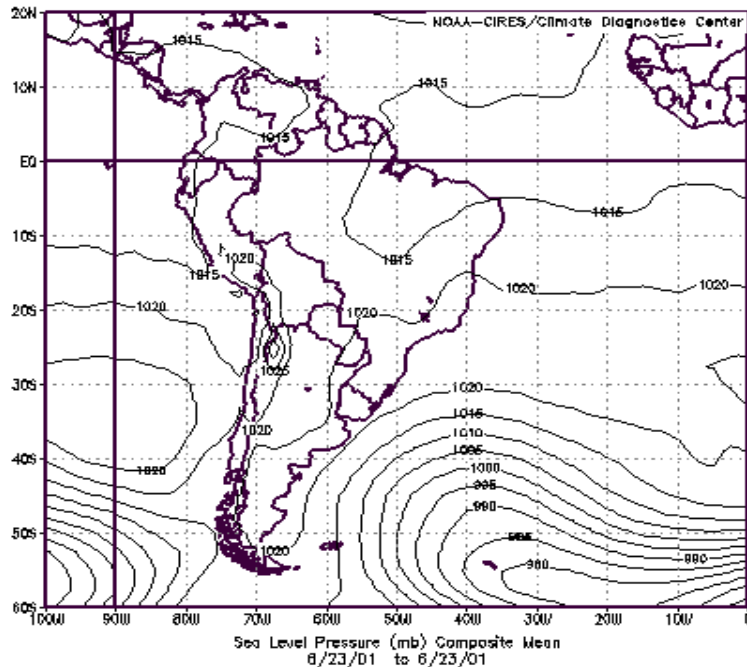


85799 SCTE Puerto Montt

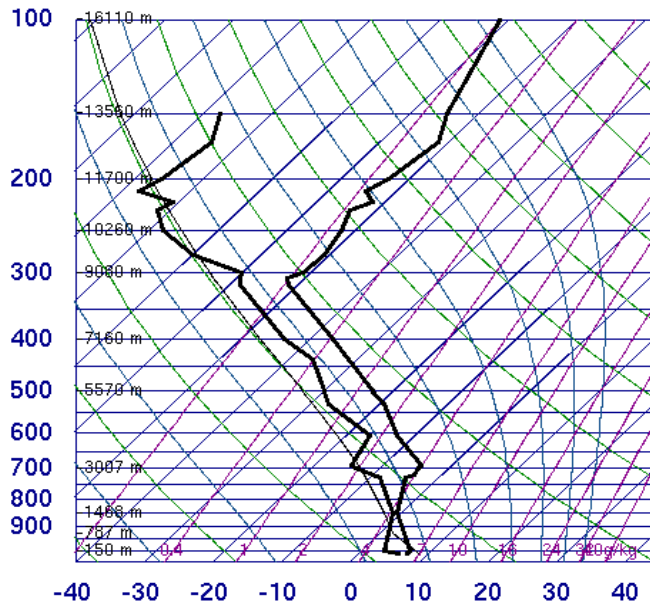


12Z 22 Jun 2001

DIA 22 JUNIO.- El Sistema Anticiclónico pierde intensidad y se puede apreciar la incursión de un sistema de baja presión asociada a un sistema frontal que se aproxima a las costas de la región con una capa muy húmeda y de gran extensión vertical. Se Mantiene una capa estable y seca en los niveles bajos muy restringida.



85799 SCTE Puerto Montt



SLAT	-41.4
SLON	-73.1
SELV	79.00
SHOW	8.07
LIFT	10.19
LFTV	10.22
SWET	46.62
KINX	11.80
CTOT	21.50
VTOT	22.20
TOTL	43.70
CAPE	0.00
CAPV	0.00
CINS	0.00
CINV	0.00
EGLV	-9999
EQTV	-9999
LFCT	-9999
LCV	-9999
BRCH	0.00
BRCV	0.00
LCLT	275.1
LCLP	931.5
MLTH	280.8
MLMR	4.79
THCK	5420.
PWAT	15.65

12Z 23 Jun 2001

DIA 23 JUNIO.- Desaparece la capa estable de los niveles bajos y se puede apreciar una capa húmeda de gran extensión vertical.

Las situaciones de mala ventilación en los cuatro casos analizados corresponden al efecto que introduce la vaguada costera que se proyecta hasta la IX Región generando el efecto de Subsistencia, formación de una Inversión Térmica fuerte, viento del Este en los niveles bajos que produce calentamiento y sequedad del aire acompañado de una fuerte Estabilidad Atmosférica propiciadora de una gran concentración de contaminantes.



4.3.2 Análisis Meteorología de superficie

Los cuatro períodos episódicos fueron analizados en relación a la información de meteorología de superficie de las estaciones Las Encinas y Padre Las Casas, a fin de caracterizar las temperaturas, vientos, y humedad relativa para días previos, durante, y después del episodio.

Las Tablas IV.3 y IV.4 muestran las estadísticas de valores promedios y extremos de cada variable para el Episodio 1, observados en la estación Las Encinas y Padre las Casa, respectivamente. De ellas se observa una característica común relacionada con la baja temperatura promedio y vientos promedios débiles para los días de alta concentración de PM10.

Episodio 1: 13 al 18 de Mayo Año 2004

Tabla IV.3 Episodio 1 Año 2004, Estación las Encinas

Dia		T Min °C	T Max °C	T Prom °C	WS Min m/s	WS Max m/s	WS Prom m/s	HR Min %	HR Max %	HR Prom %	Dir W Prom °deg	[PM10] µg/m ³
Jueves	06/05/04	2	21	10	0.3	2.2	1.2	53	96	82	326.2	84
Viernes	07/05/04	10	14	11	0.5	1.6	1.0	83	96	93	230.8	-
Sábado	08/05/04	9	12	11	0.1	2.0	0.8	92	97	96	216.5	-
Domingo	09/05/04	10	15	12	0.0	1.3	0.7	73	95	87	145.1	-
Lunes	10/05/04	4	14	10	0.0	2.6	1.0	63	97	90	241.3	-
Martes	11/05/04	2	16	9	0.2	2.2	1.1	51	96	81	197.3	-
Miércoles	12/05/04	1	19	9	0.5	1.7	1.1	39	95	73	11.8	-
Jueves	13/05/04	2	22	9	0.3	2.0	1.2	30	94	72	336	151
Viernes	14/05/04	1	16	8	0.5	1.6	1.1	47	96	80	347.5	144
Sábado	15/05/04	1	14	6	0.2	1.4	0.7	59	96	88	335.7	229
Domingo	16/05/04	4	13	8	0.0	1.4	0.7	68	97	89	18.8	215
Lunes	17/05/04	6	15	10	0.0	1.2	0.6	74	97	90	28.8	183
Martes	18/05/04	9	16	11	0.3	1.8	0.8	67	96	90	19.3	201
Miércoles	19/05/04	10	15	12	0.7	2.8	1.5	72	95	84	42.9	85
Jueves	20/05/04	11	15	13	0.7	7.5	2.7	67	86	78	34.2	44
Viernes	21/05/04	7	16	10	0.3	4.0	1.3	61	96	84	35.4	151
Sábado	22/05/04	2	20	9	0.2	2.4	1.1	40	97	79	359.5	117
Domingo	23/05/04	2	19	9	0.5	1.6	1.1	47	95	79	350	118
Lunes	24/05/04	2	17	9	0.4	2.3	1.4	46	96	82	337	73
Martes	25/05/04	6	9	8	0.0	1.9	0.8	80	95	89	186.2	73

Tabla IV.4 Episodio 1 Año 2004, Estación Padre las Casas

Dia		T Min °C	T Max °C	T Prom °C	WS Min m/s	WS Max m/s	WS Prom m/s	HR Min %	HR Max %	HR Prom %	Dir W Prom °deg	[PM10] µg/m ³
Jueves	06/05/04	2	20	11	0.4	4.6	1.7	40	85	65	315.3	95
Viernes	07/05/04	2	21	10	0.4	4.3	1.7	51	90	76	249.8	51
Sábado	08/05/04	9	13	11	0.7	2.7	1.6	74	92	87	176.7	38
Domingo	09/05/04	8	11	10	0.5	3.2	1.4	89	92	91	168.6	48
Lunes	10/05/04	10	14	11	0.4	2.2	1.2	69	90	82	232.2	58
Martes	11/05/04	3	13	8	0.4	3.6	1.7	56	91	81	308.4	75
Miércoles	12/05/04	3	9	7	0.4	2.2	0.8	74	90	83	208	75
Jueves	13/05/04	0	19	9	0.4	4.3	1.4	33	90	67	332.8	176
Viernes	14/05/04	1	22	10	0.4	2.9	1.1	28	86	63	312.2	187
Sábado	15/05/04	0	20	7	0.4	3.3	0.9	31	92	74	318.7	197
Domingo	16/05/04	0	14	6	0.4	1.9	0.8	58	93	82	149.3	145
Lunes	17/05/04	3	12	8	0.4	1.7	0.8	66	91	84	2.9	201
Martes	18/05/04	6	14	9	0.4	1.3	0.9	69	91	84	56.9	150
Miércoles	19/05/04	8	16	11	0.4	2.8	1.2	62	91	82	48	83
Jueves	20/05/04	9	14	11	0.7	7.7	3.4	69	88	77	55.8	40
Viernes	21/05/04	10	14	12	1.7	8.1	5.6	64	76	72	52.5	106
Sábado	22/05/04	7	15	10	0.4	4.3	2.0	58	89	77	343.1	144
Domingo	23/05/04	1	19	9	0.4	4.1	1.1	37	89	71	336.6	150
Lunes	24/05/04	1	19	9	0.4	2.9	1.1	44	87	71	246	103
Martes	25/05/04	0	17	8	0.4	4.2	1.5	46	89	76	205.6	71



Durante el Episodio 1 (13 al 18 Mayo 2004) se observa una temperatura promedio muy baja (10 °C media del periodo), asociada a vientos débiles. La humedad relativa no presenta diferencias significativas respecto a días episódicos (ver Figuras 4.1, 4.2 y 4.3).

La Figura 4.4 muestra las direcciones del viento predominante durante el Episodio 1. De ella se observa la alta frecuencia de vientos de superficie provenientes del Noreste. Tal como se explico en el análisis de las condiciones sinópticas, los vientos con componentes Norte y Este incrementan el calentamiento adiabático, reforzando la inversión de subsidencia y por ende produciendo condiciones de mala ventilación.

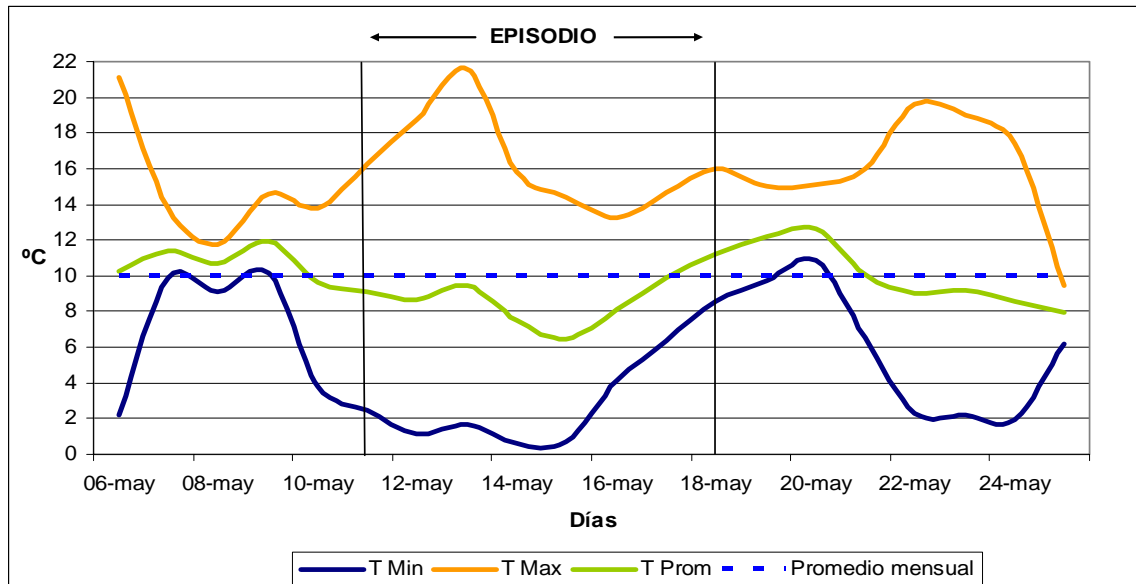


Figura 4.1 Ciclo diario de Temperatura Episodio 1 año 2004

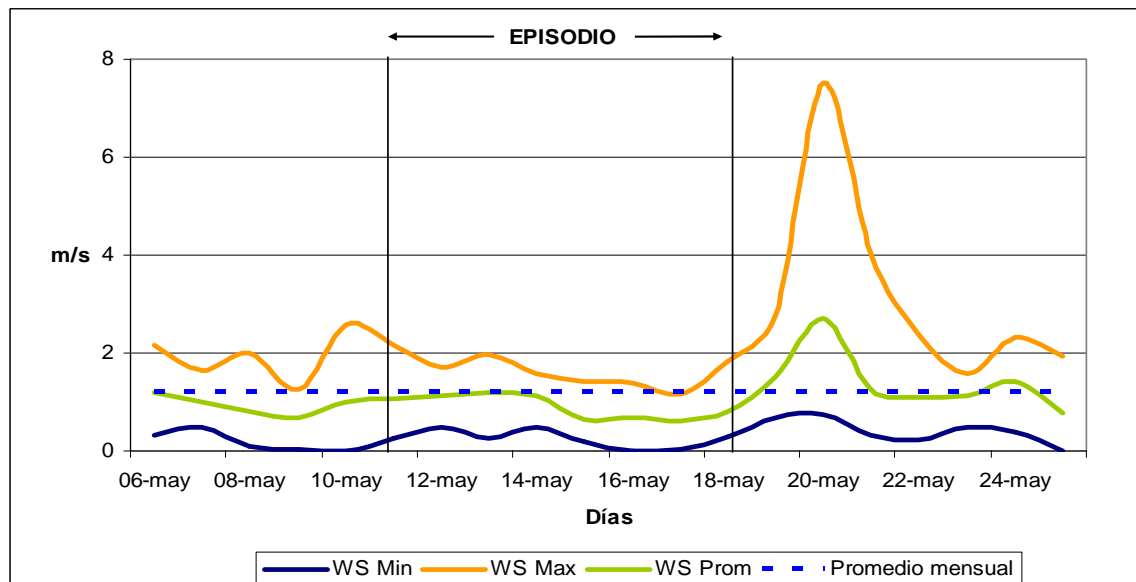


Figura 4.2 Ciclo diario de Velocidad del Viento Episodio 1 año 2004

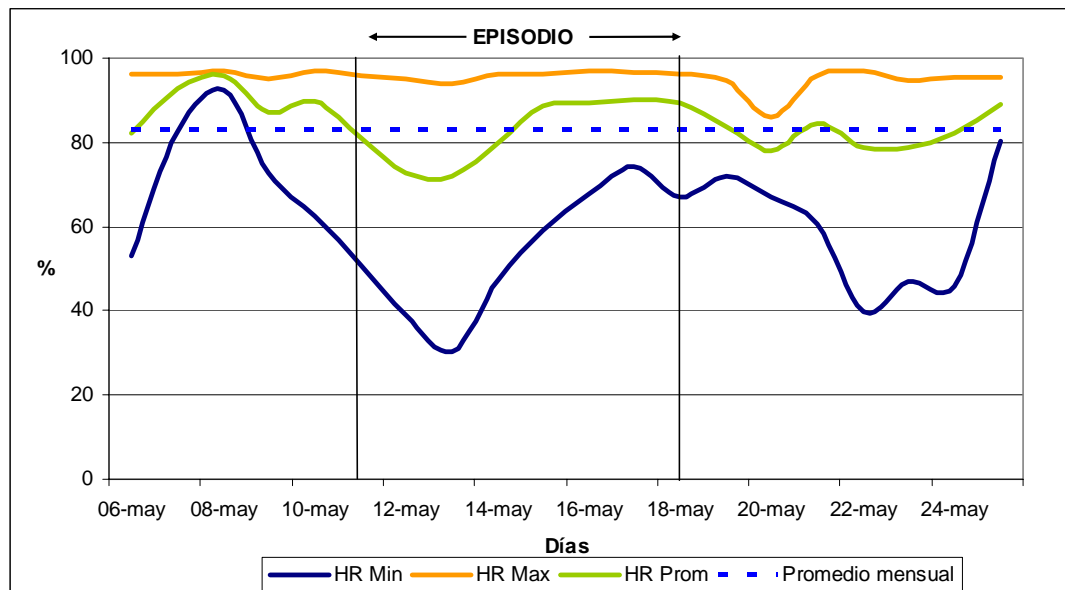


Figura 4.3 Ciclo diario de Humedad Relativa Episodio 1 año 2004

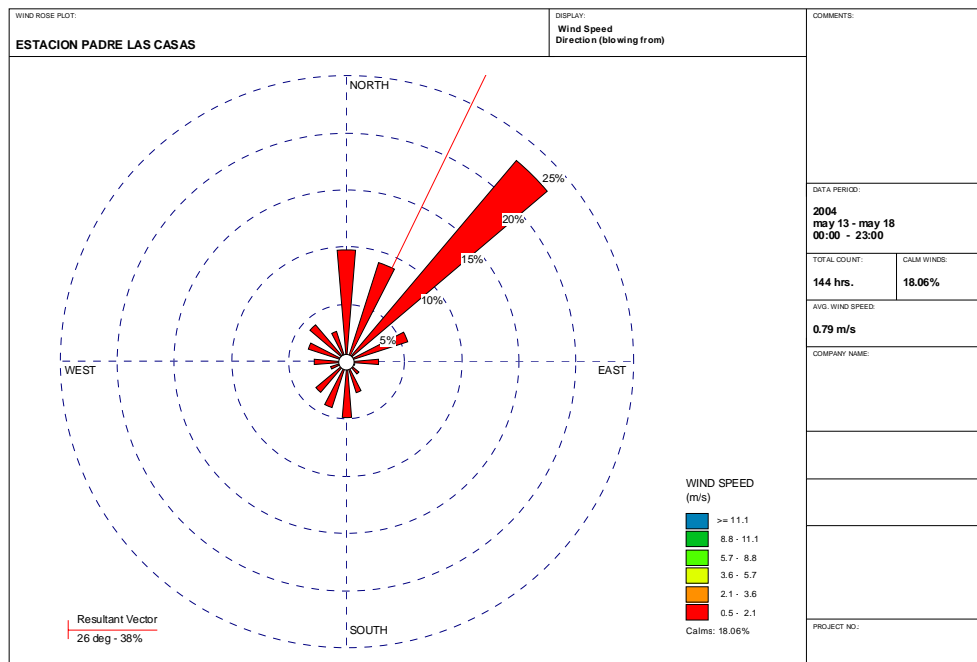


Figura 4.4 Rosa de Vientos durante el Episodio 1 del 13 al 18 de Mayo 2004



EPISODIO 2: 1 al 2 de Abril año 2003

En este episodio se observan temperaturas alrededor del promedio mensual, con vientos débiles y baja humedad relativa (ver Tablas IV.5 y IV.6, y Figuras 4.5 a 4.7). A diferencia del Episodio 1 en que las concentraciones son altas en ambas estaciones, aquí sólo el monitor de Padre Las Casas registró valores sobre los 120 µg/m³, y dado que la temperatura promedio durante el episodio en Padre Las Casas no fue baja, esto estaría indicando que el efecto fue local, debido quizás a otras fuentes de emisión, tales como quemas agrícolas (ver 7.4).

La Figura 4.8 muestra las direcciones del viento predominante durante el Episodio 2. De ella se observa la alta frecuencia de vientos de superficie provenientes del Noreste y Suroeste. La componente Suroeste se asocia a vientos limpios costeros, reforzando de esta manera que las condiciones meteorológicas no serían el responsable principal de las altas concentraciones detectadas en la estación Padre Las Casas.

Tabla IV.5 Episodio 2 Año 2003, Estación las Encinas

Dia		T Min °C	T Max °C	T Prom °C	WS Min m/s	WS Max m/s	WS Prom m/s	HR Min %	HR Max %	HR Prom %	Dir W Prom °deg	[PM10] µg/m ³
Martes	25/03/2003	13	24	18	0.3	2.0	1.0	47	96	75	180.8	26
Miércoles	26/03/2003	14	22	17	0.3	2.2	1.2	62	96	85	231.5	14
Jueves	27/03/2003	12	20	16	0.0	4.2	1.6	53	97	81	229.3	10
Viernes	28/03/2003	11	21	14	0.6	4.6	1.9	41	98	82	229.7	13
Sábado	29/03/2003	8	26	17	0.3	4.0	1.5	32	98	67	186.7	20
Domingo	30/03/2003	9	26	16	0.3	3.0	1.3	27	95	63	132.9	23
Lunes	31/03/2003	8	24	15	0.5	1.9	1.1	32	94	66	336.4	26
Martes	01/04/2003	8	24	15	0.5	1.8	1.0	34	95	71	12.7	66
Miércoles	02/04/2003	8	22	14	0.1	3.5	1.3	43	97	78	314.2	-
Jueves	03/04/2003	10	22	14	0.3	3.9	1.4	38	98	81	197.9	25
Viernes	04/04/2003	12	22	15	0.6	4.9	2.0	46	98	83	225.4	28
Sábado	05/04/2003	7	23	14	0.3	3.8	1.6	42	98	79	312	30
Domingo	06/04/2003	7	19	14	0.2	4.3	1.5	47	97	81	197.1	-
Lunes	07/04/2003	3	18	10	0.6	3.8	1.8	41	97	76	295	29
Martes	08/04/2003	10	17	13	0.3	3.3	1.2	82	97	91	6.8	15
Miércoles	09/04/2003	3	19	10	0.3	3.4	1.6	50	98	80	266.8	-

Tabla IV.6 Episodio 2 Año 2003, Estación Padre las Casas

Dia		T Min °C	T Max °C	T Prom °C	WS Min m/s	WS Max m/s	WS Prom m/s	HR Min %	HR Max %	HR Prom %	Dir W Prom °deg	[PM10] µg/m ³
Martes	25/03/2003	13	23	18	0.8	3.2	2.0	47	89	72	194.1	60
Miércoles	26/03/2003	14	21	17	0.7	3.6	2.2	60	91	79	218.9	27
Jueves	27/03/2003	12	20	16	0.5	5.3	2.5	52	91	77	229.9	16
Viernes	28/03/2003	11	20	14	1.2	6.6	2.8	43	92	77	247	21
Sábado	29/03/2003	9	26	17	0.8	5.7	2.4	31	92	64	204.1	35
Domingo	30/03/2003	8	26	17	0.4	5.2	2.0	25	85	56	158.4	29
Lunes	31/03/2003	7	24	15	0.4	2.8	1.6	30	86	59	210.5	51
Martes	01/04/2003	7	24	15	0.6	3.2	1.3	29	89	63	27.8	140
Miércoles	02/04/2003	9	22	14	0.4	5.3	1.9	46	89	72	206.2	123
Jueves	03/04/2003	9	21	13	0.7	5.4	2.2	41	92	78	184.6	62
Viernes	04/04/2003	11	21	15	1.0	7.0	3.0	50	93	79	224.5	49
Sábado	05/04/2003	8	22	14	0.6	5.7	2.6	43	92	76	294	58
Domingo	06/04/2003	8	18	14	0.5	5.8	2.4	47	92	75	186.5	37
Lunes	07/04/2003	4	18	11	0.6	5.8	2.8	42	86	68	236.6	62
Martes	08/04/2003	10	16	12	0.5	6.2	2.6	73	90	83	358	27
Miércoles	09/04/2003	4	18	11	0.6	5.1	2.4	48	90	73	203.7	-

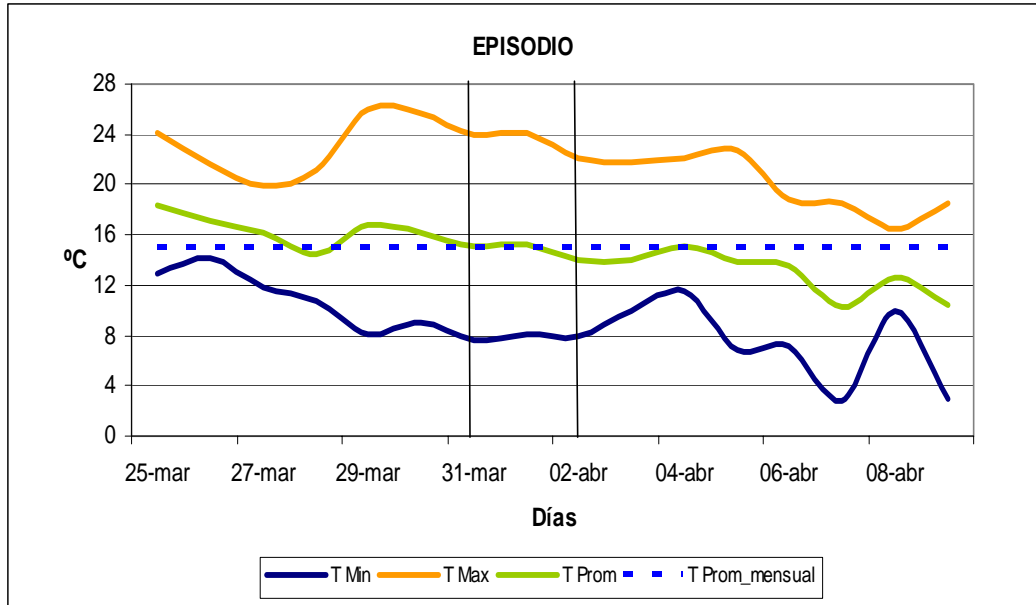


Figura 4.5 Ciclo diario de Temperatura Episodio 2 año 2003

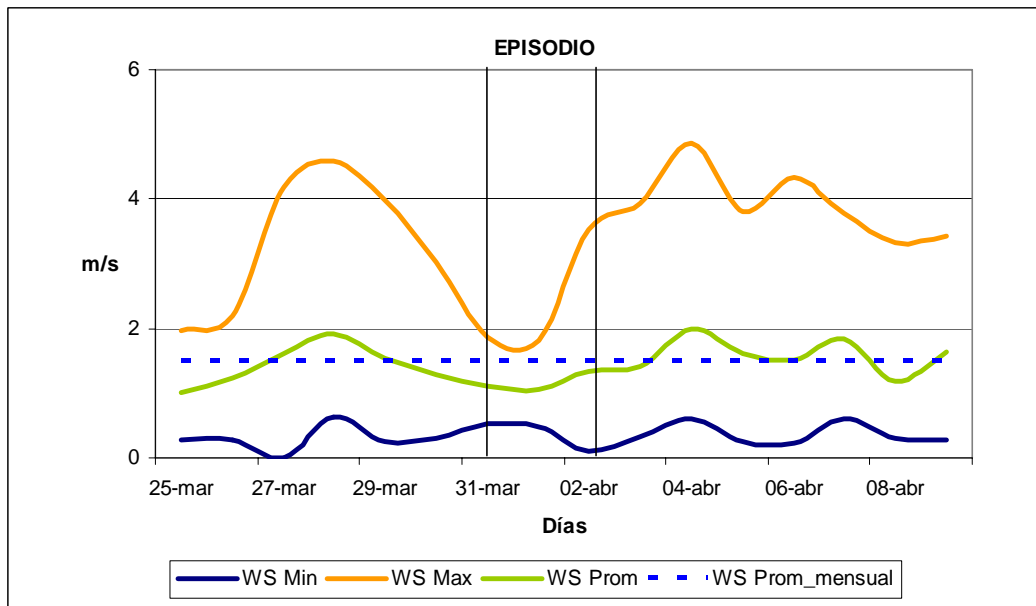


Figura 4.6 Ciclo diario de Velocidad del Viento Episodio 2 año 2003

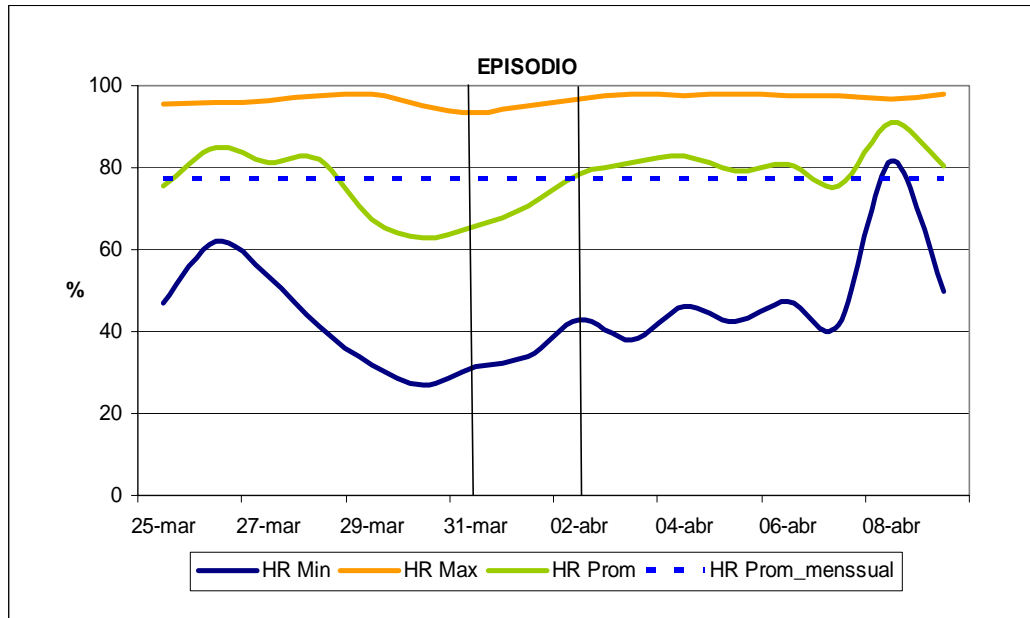


Figura 4.7 Ciclo diario de Humedad Relativa Episodio 2 año 2003

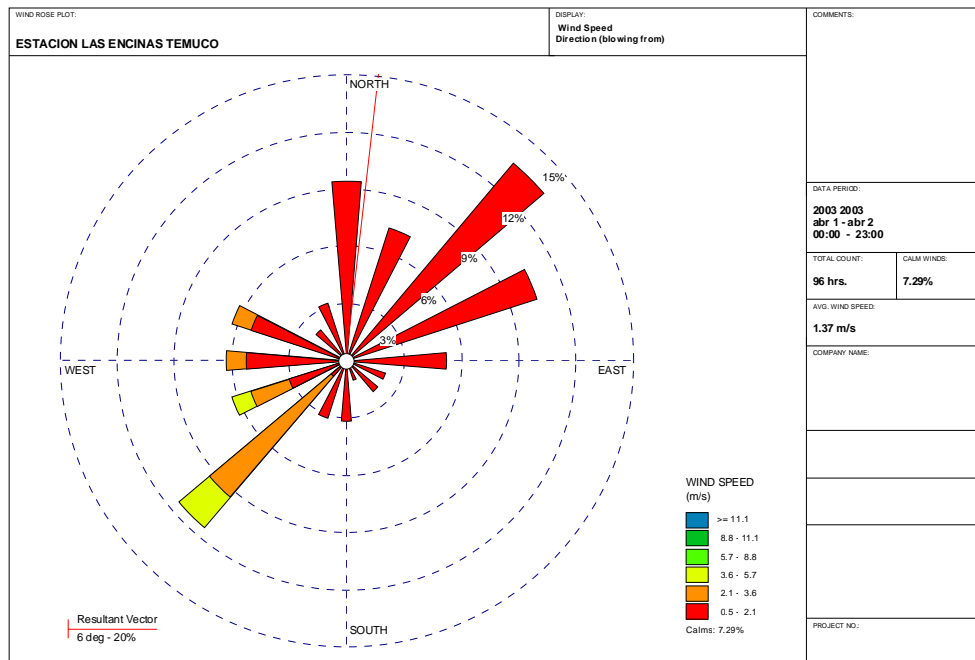


Figura 4.8. Rosa de Vientos durante el Episodio 2 del 1 al 2 de Abril 2003



EPISODIO 3: 12 al 14 de Junio año 2002

Las condiciones meteorológicas de superficie para este episodio son similares al Episodio 1, es decir, temperaturas promedio muy bajas, vientos débiles, y humedad baja. La Tabla IV.7, y las Figuras 4.9 a 4.11 muestran en detalle esta información.

Tabla IV.7 Episodio 3 Año 2002, Estación las Encinas

Dia		T Min °C	T Max °C	T Prom °C	WS Min m/s	WS Max m/s	WS Prom m/s	HR Min %	HR Max %	HR Prom %	Dir WProm °deg	[PM10] µg/m³
Miércoles	05/06/2002	7	11	8	1.9	5.1	3.1	65	93	84	322.3	22
Jueves	06/06/2002	7	10	8	1.5	5.3	3.5	75	92	84	346.9	18
Viernes	07/06/2002	7	10	8	1.1	4.8	2.8	81	92	86	316.8	25
Sábado	08/06/2002	8	11	10	2.8	6.5	5.0	78	94	87	313.3	11
Domingo	09/06/2002	2	9	6	0.4	3.5	1.6	63	97	82	319.7	34
Lunes	10/06/2002	-1	8	3	0.2	4.0	1.6	57	99	84	244.6	-
Martes	11/06/2002	-1	9	3	0.4	3.7	1.6	61	98	84	254.6	-
Miércoles	12/06/2002	-1	10	4	0.4	3.1	1.5	58	97	84	255.2	165
Jueves	13/06/2002	-3	7	2	0.1	2.1	0.8	69	98	89	351.7	264
Viernes	14/06/2002	-3	8	2	0.0	2.5	0.9	67	97	89	333.4	212
Sábado	15/06/2002	-2	4	1	0.0	1.8	0.9	85	98	95	337.5	107
Domingo	16/06/2002	1	11	5	0.0	3.0	1.2	65	98	88	244.8	142
Lunes	17/06/2002	4	9	7	0.0	2.3	1.1	82	97	91	21.1	66
Martes	18/06/2002	7	12	9	1.1	3.8	2.2	80	94	87	16.4	32
Miércoles	19/06/2002	10	13	11	0.3	2.1	1.3	82	96	91	352.4	33
Jueves	20/06/2002	7	13	10	0.4	1.8	1.2	70	96	85	355.8	63
Viernes	21/06/2002	1	15	6	0.6	2.5	1.3	37	93	72	336	137

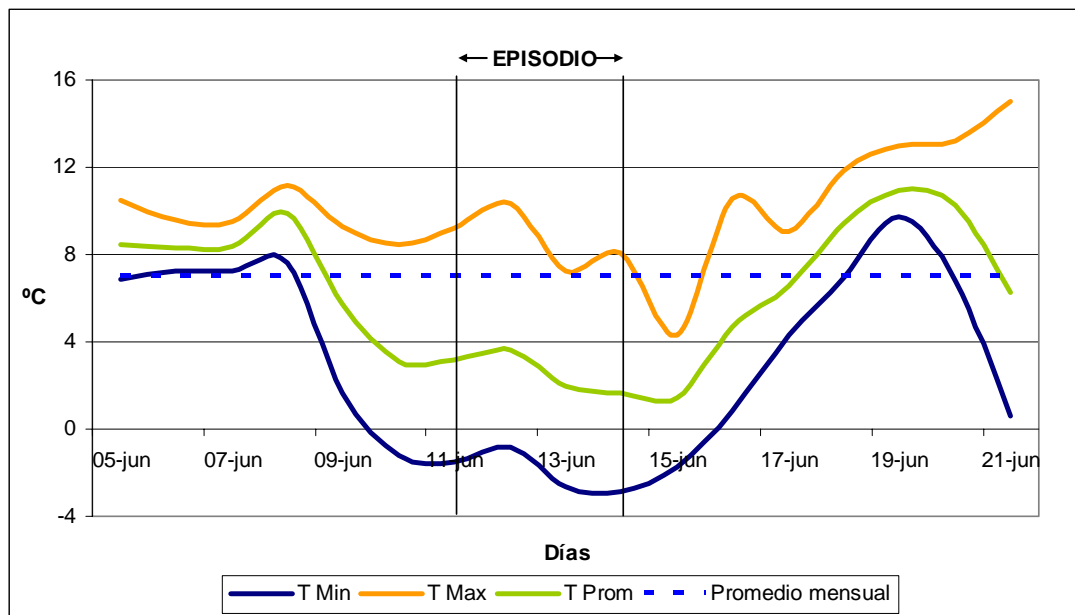


Figura 4.9 Ciclo diario de Temperatura Episodio año 2002

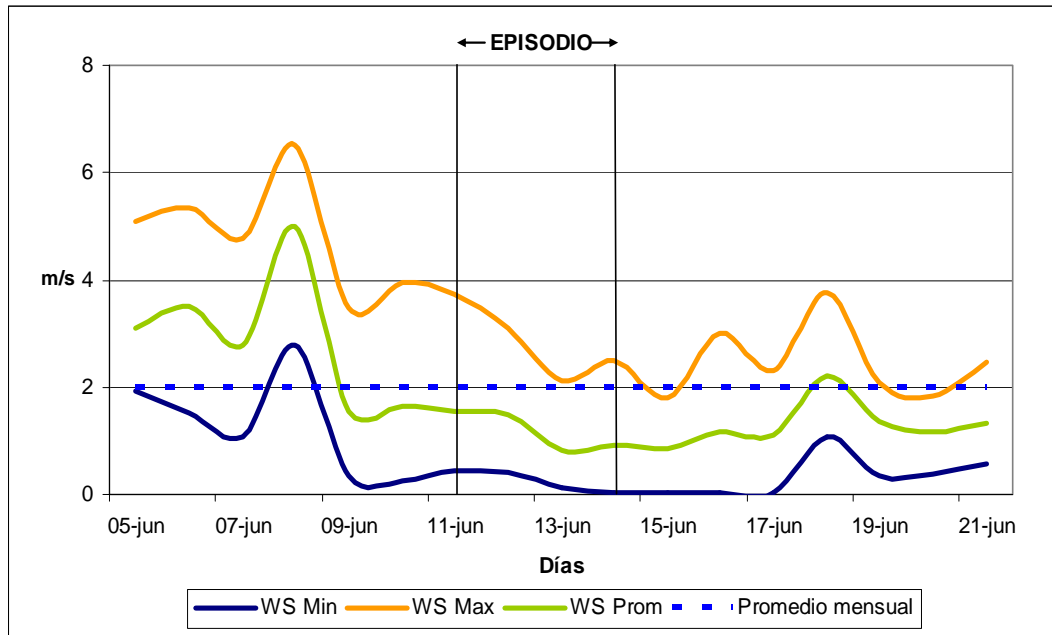


Figura 4.10 Ciclo diario de Velocidad del Viento Episodio año 2002

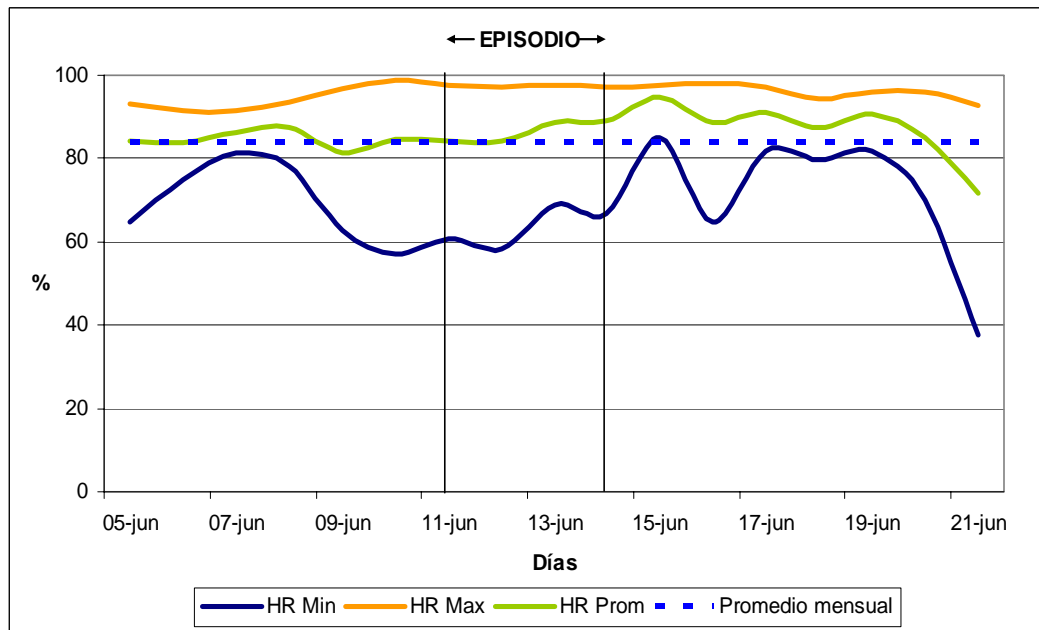


Figura 4.11 Ciclo diario de Humedad Relativa Episodio año 2002



La Figura 4.12 muestra las direcciones de viento predominante durante el Episodio 3. De ella se observa componentes Norte, Noroeste con velocidades del viento bajas (< 2.1 m/s), y componentes del Sur, Sur Oeste con magnitudes mayores (2.1 a 3.6 m/s). El vector viento resultante indica una predominancia de direcciones Norte, característico de los episodios en Temuco.

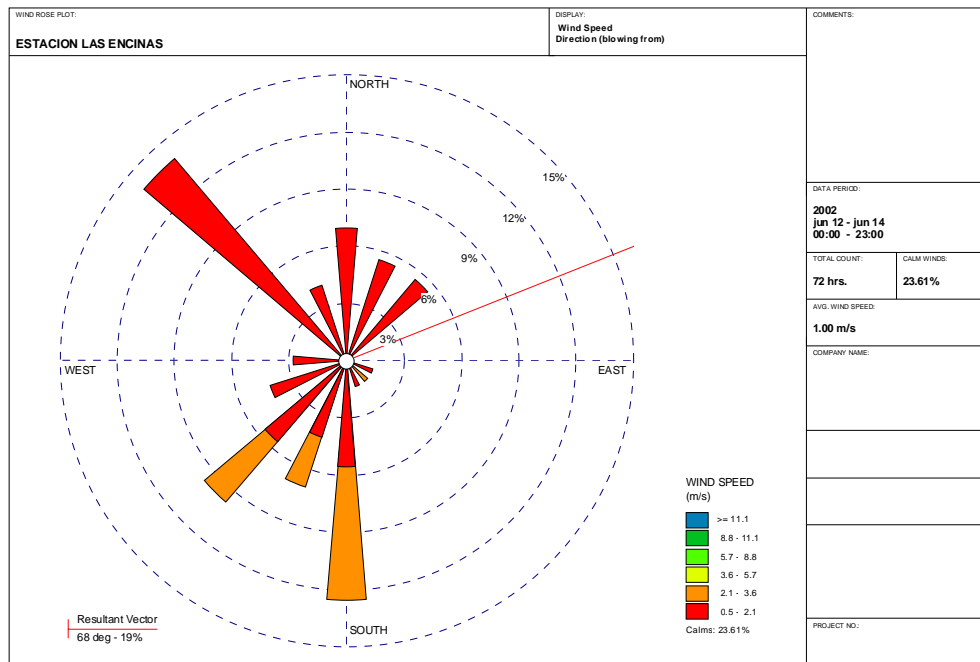


Figura 4.12 Rosa de Vientos durante el Episodio 3 del 12 al 14 de Junio 2002

EPISODIO 4: 17 al 21 de Junio año 2001

Las condiciones meteorológicas de superficie para el Episodio 4, son similares al Episodio 1, es decir, temperaturas promedio muy bajas, vientos débiles, y humedad baja. La Tabla IV.8, y las Figuras 4.13 a 4.15 muestran en detalle esta información.



Tabla IV.8 Episodio 4 Año 2001, Estación las Encinas

Dia		T Min °C	T Max °C	T Prom °C	WS Min m/s	WS Max m/s	WS Prom m/s	HR Min %	HR Max %	HR Prom %	Dir W Prom °deg	[PM10] µg/m ³
Domingo	10/06/2001	8	10	9	0.0	1.8	0.8	97	98	97	18	49
Lunes	11/06/2001	8	15	11	0.6	7.4	2.9	67	98	85	9	32
Martes	12/06/2001	11	12	11	0.9	6.2	2.7	72	88	81	37	32
Miércoles	13/06/2001	10	12	11	0.0	9.2	2.7	77	96	88	351	30
Jueves	14/06/2001	8	12	10	0.0	3.8	1.6	75	97	89	346	38
Viernes	15/06/2001	7	14	10	0.6	3.0	1.6	51	95	78	131	44
Sábado	16/06/2001	5	15	10	0.5	4.0	2.2	34	78	57	166	39
Domingo	17/06/2001	1	15	7	0.2	2.6	1.2	31	91	60	152	124
Lunes	18/06/2001	-2	13	4	0.0	2.2	1.0	41	96	77	337	188
Martes	19/06/2001	-1	11	4	0.0	1.7	0.9	53	96	82	3	214
Miércoles	20/06/2001	3	11	7	0.0	3.5	1.1	66	96	84	223	133
Jueves	21/06/2001	0	11	4	0.0	2.1	0.8	70	97	90	289	231
Viernes	22/06/2001	1	7	4	0.2	2.0	1.1	86	97	94	53	111
Sábado	23/06/2001	4	10	7	0.0	5.0	1.6	76	97	89	47	93
Domingo	24/06/2001	1	8	4	0.0	2.1	0.8	82	98	95	336	112
Lunes	25/06/2001	3	12	7	0.0	1.7	0.5	77	98	92	351	112
Martes	26/06/2001	5	15	9	0.1	2.4	1.2	71	97	91	240	156
Miércoles	27/06/2001	5	9	8	0.2	1.9	0.9	91	98	95	42	64
Jueves	28/06/2001	7	9	8	0.0	1.4	0.7	90	97	94	339	24

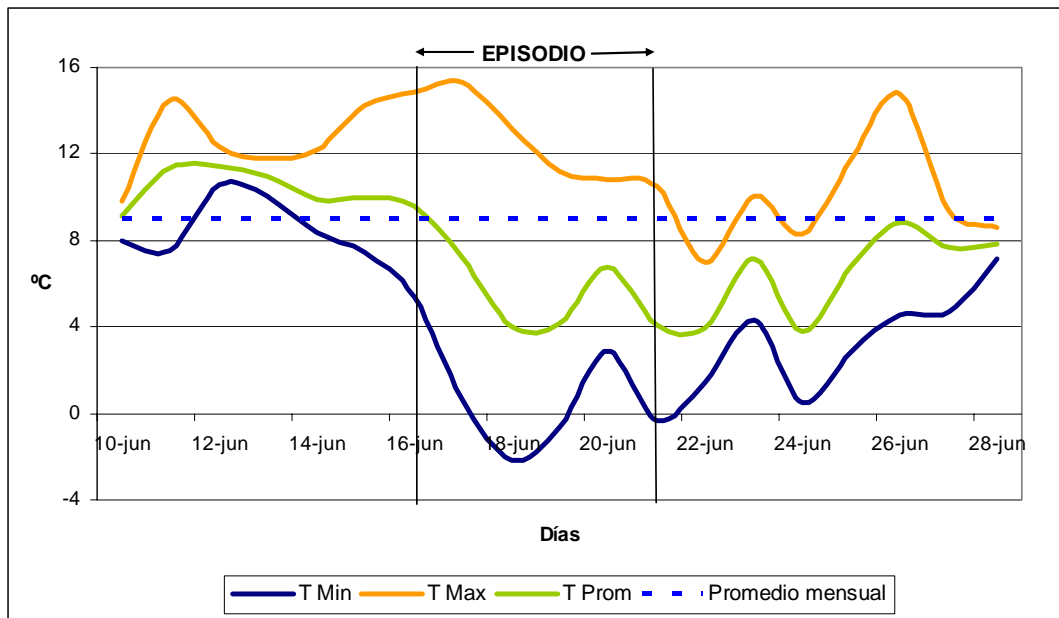


Figura 4.13 Ciclo diario de Temperatura Episodio año 2001

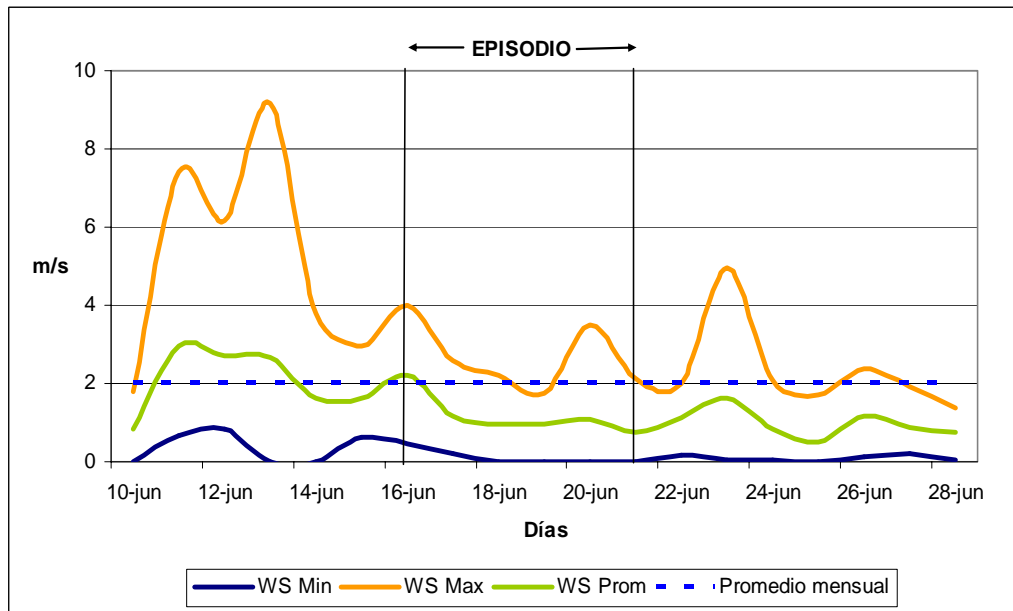


Figura 4.14 Ciclo diario de Velocidad del viento Episodio año 2001

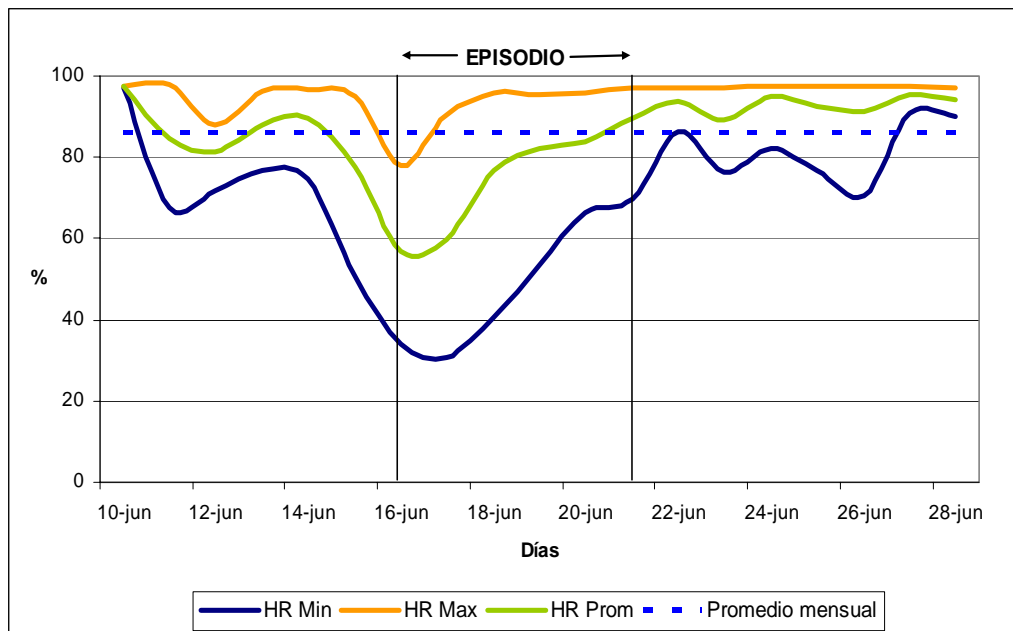


Figura 4.15 Ciclo diario de Humedad Relativa Episodio año 2001



La Figura 4.16 muestra las direcciones de viento predominante durante el Episodio 4. De ella se observa componentes Norte, Noreste con velocidades del viento bajas (< 2.1 m/s), y componentes del Sur, Sur Oeste con magnitudes mayores (2.1 a 3.6 m/s). El vector viento resultante indica una predominancia de direcciones Norte, característico de los episodios en Temuco.

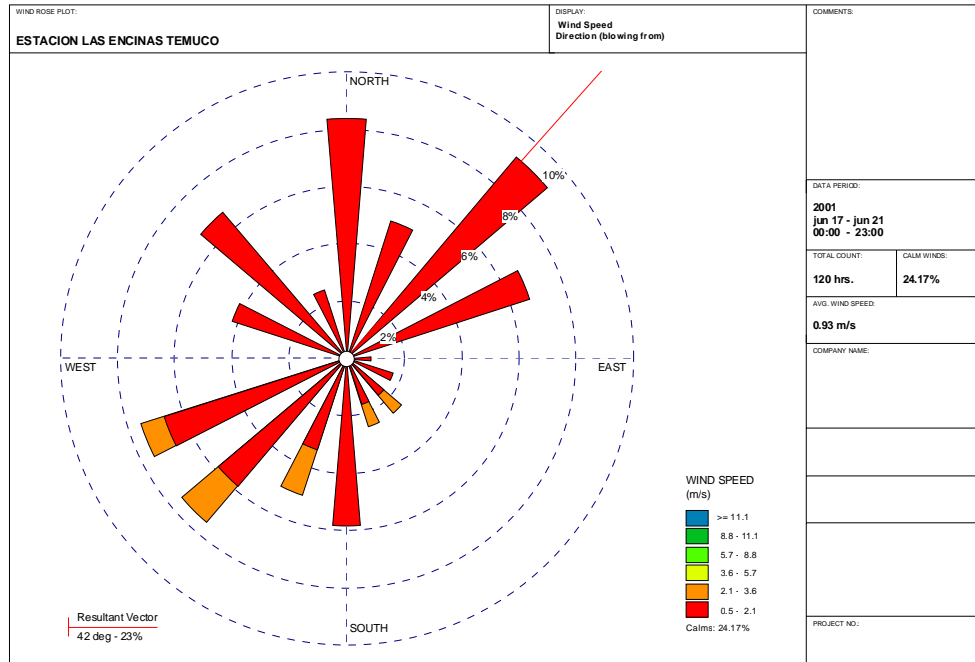


Figura 4.16 Rosa de Vientos durante el Episodio 4 del 17 al 21 de Junio 2001



4.4 Selección de los episodios de contaminación por PM10

Del análisis de las condiciones meteorológicas de altura y de superficie de los cuatro episodios seleccionados (4.2 y 4.3), se desprende que existen patrones similares asociados a eventos de alta contaminación en Temuco y Padre Las Casas. Estas condiciones se caracterizan por situaciones de mala ventilación debido al efecto que introduce la vaguada costera que se proyecta hasta la IX Región generando el efecto de Subsistencia, formación de una Inversión Térmica fuerte, viento del Este en los niveles bajos que produce calentamiento y sequedad del aire acompañado de una fuerte Estabilidad Atmosférica. Aún cuando los patrones de altura son similares, existen diferencias en la intensidad y duración de las condiciones meteorológicas.

Las condiciones en superficie se caracterizan por vientos promedios débiles y por bajas temperatura promedio.

Dado que los episodios presentan características meteorológicas similares, se escogieron 2 de ellos para modelar las concentraciones de PM10, y serán los que permitirán evaluar estrategias de control de emisiones. Los episodios seleccionados corresponden al período entre el 13 al 18 de Mayo del año 2004, y al 01 y 02 de Abril 2003. El primero de ellos se escogió por ser del año en que se actualizan las emisiones (2004), y por ser el período más largo, y que además presentó altas concentraciones de PM10 en ambas estaciones. El segundo período, se escogió por presentar una característica especial en que se registraron concentraciones bajas en la estación Las Encinas y concentraciones altas en la estación Padre Las Casas. Al modelar esta última condición, se espera dilucidar las distintas responsabilidades por tipo de fuentes para la ocurrencia de esta situación en que además se presentó una vaguada débil que se disipó rápidamente.

La Tabla IV.9 muestra los episodios de modelación seleccionados y la concentración de PM10 promedio del episodio por estación.

Tabla IV.9 Episodios de modelación y concentración promedio por estación

Episodios	Fecha	Duración (días)	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Promedio		
			Las Encinas	Padre las Casas	Vel (m/s)	Tem ($^{\circ}\text{C}$)	Hr (%)
1	13 - 18 Mayo 2004	6	187	176	0.9	8.6	85
2	1 - 2 Abril 2003	2	-	132	1.6	14.5	68

A continuación se describe en un mayor detalle el comportamiento de los vientos horizontales y los gradientes verticales y horizontales de temperatura en Temuco para estos dos episodios seleccionados.



4.4.1 Trayectorias y Campos de Viento

Las Figuras 4.17 a 4.22 muestran las trayectorias y velocidades del viento para el dominio de modelación (grilla de 50 x 50 Kms) el cual abarca las comunas de Temuco y Padre las casas, en los días 15 de Mayo de 2004 y 01 de Abril de 2003 para las horas 04:00, 15:00 y 21:00 horas. De las figuras se puede observar las trayectorias de vientos que convergen en la ciudad de Temuco y Padre Las Casas.

Durante el Episodio 1 (2004), a las 04 de la madrugada, los vientos registrados en la estación Las Encinas, provienen desde el Nor-este, los cuales arrastran masa de aire contaminado del centro de la ciudad y son registrados en dicha estación. Las Figuras 4.18 y 4.19 muestran un patrón similar entre si, caracterizado por vientos que provienen del Norte, atraviesan la ciudad hacia el Sur y se devuelven (recirculan) hacia el Norte ingresando nuevamente a la ciudad de Temuco.

EPISODIO 2004

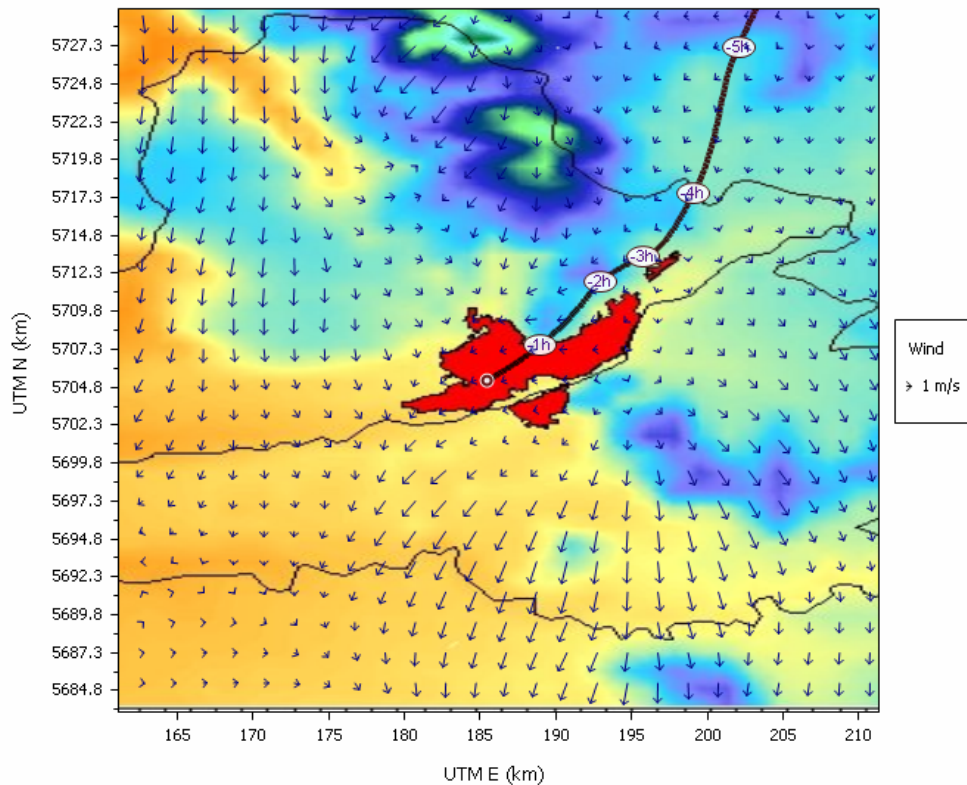


Figura 4.17 Trayectoria de Viento 15 de Mayo de 2004 04:00 hrs LET

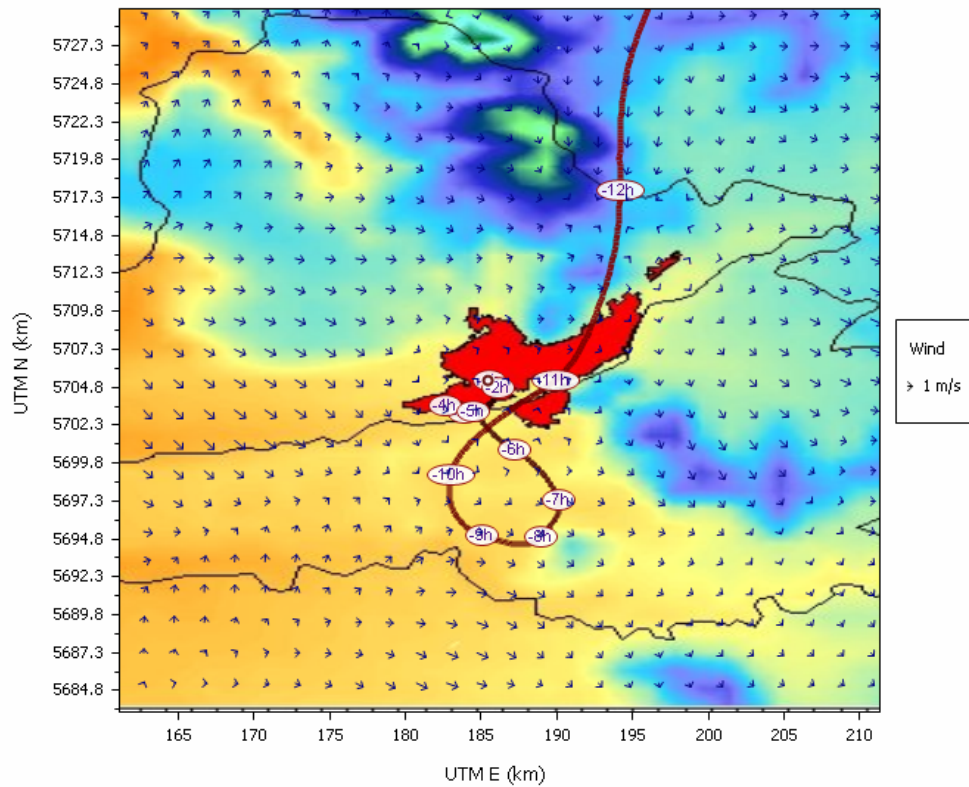


Figura 4.18 Trayectoria de Viento 15 de Mayo de 2004 15:00 hrs LET

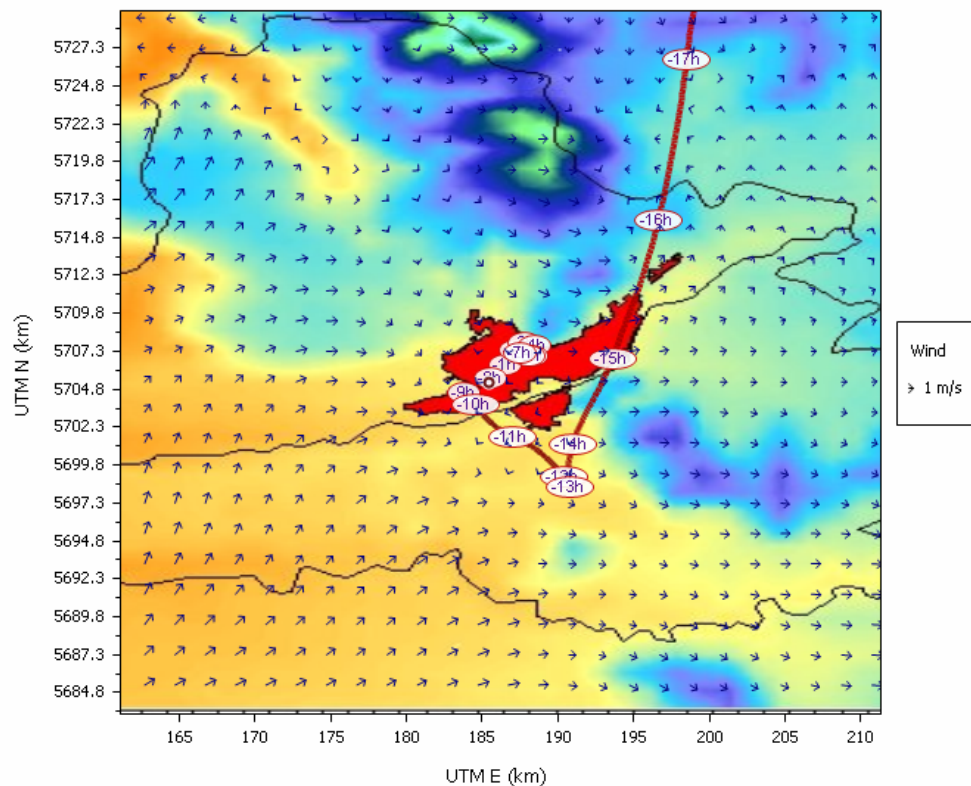


Figura 4.19 Trayectoria de Viento 15 de Mayo de 2004 21:00 hrs LET



EPISODIO 2003:

Durante el Episodio 2, los vientos de madrugada provienen del Este, presentando en general, en todo el dominio magnitudes altas (Figura 4.20). A las 15:00 horas, los vientos que pasan por Temuco provienen del Este, desviándose sus trayectorias hacia el Norte, y finalmente desviándose hacia el Sur, llegando a Padre Las Casas (Figura 4.21).

La Figura 4.22 muestra el flujo de vientos nocturnos (21:00 horas), presentando un patrón caracterizado por vientos del Norte hacia el Sur, pasando por las ciudades de Temuco y Padre Las Casas. Las masas de aire contaminado de Temuco, finalmente se registran a esa hora en la Estación Padre Las Casas.

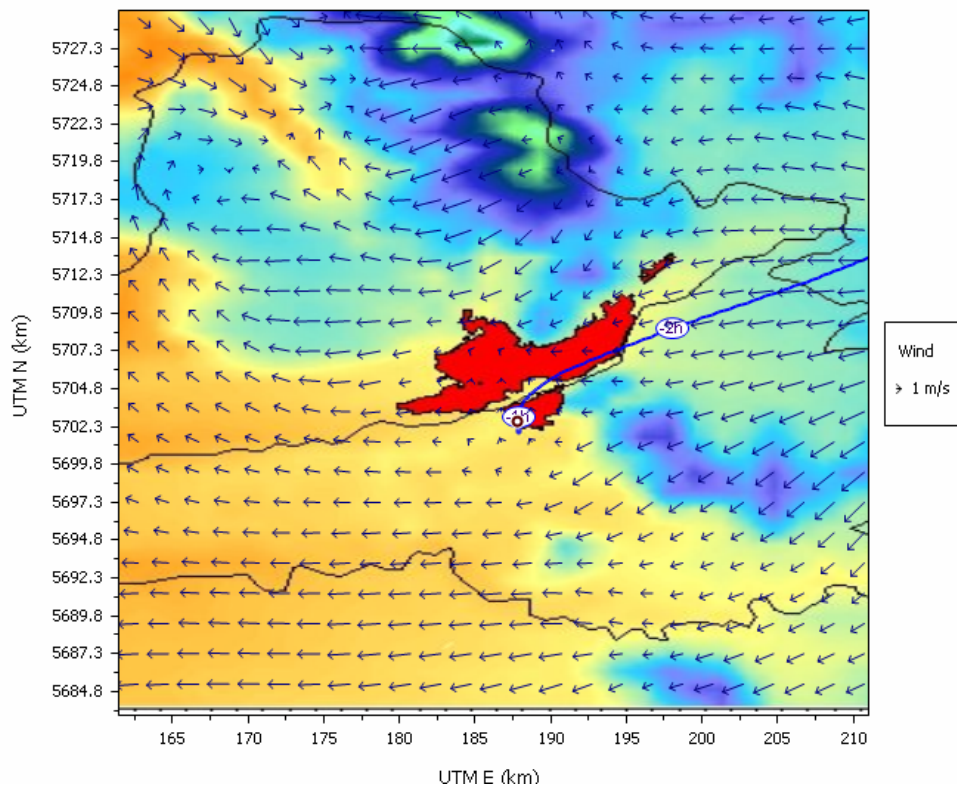


Figura 4.20 Trayectoria de Vientos 01 de Abril de 2003 04:00.hrs PLC

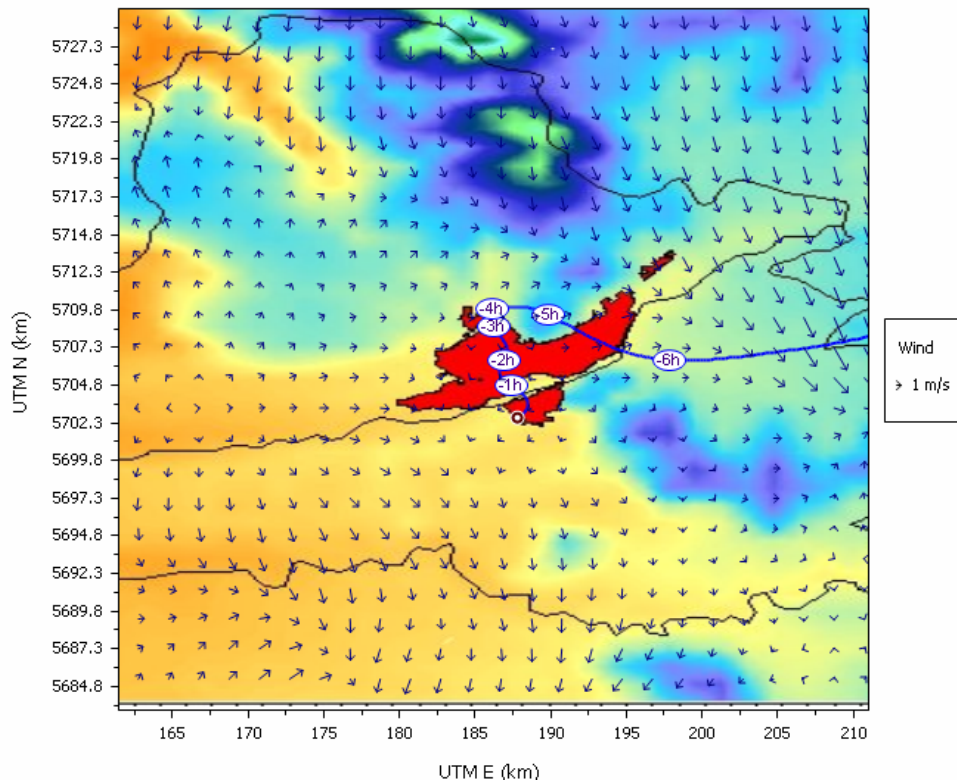


Figura 4.21 Trayectoria de Viento 01 de Abril de 2003 15:00.hrs

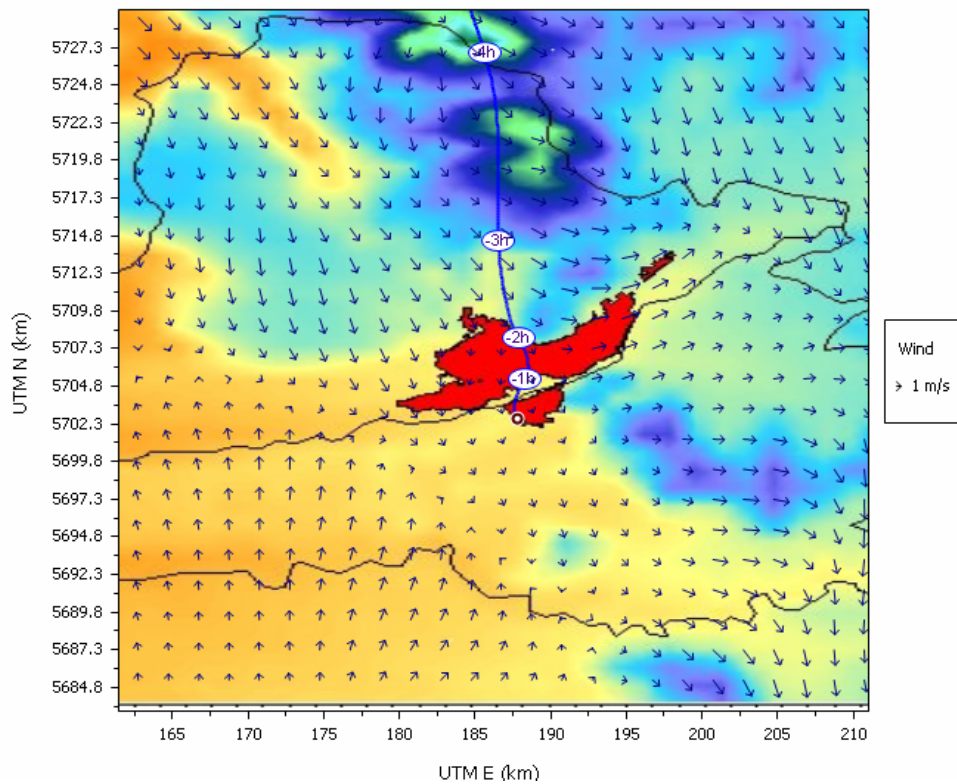


Figura 4.22 Trayectorias de Viento 01 de Abril de 2003 21:00.hrs



4.4.2 Gradientes de Temperatura

El gradiente ambiental de temperatura (variación de la temperatura con la altura), se asocia al grado de estabilidad que tiene la atmósfera. Las Figuras 4.23 y 4.24 muestran el gradiente ambiental de temperatura para los días 15 de Mayo del 2004 y 1 de abril del 2003 (Episodios 1 y 2), respectivamente, en tres cortes temporales.

De las Figuras se observa la inversión térmica radiativa que se extiende desde el atardecer (enfriamiento radiativo del aire cerca del suelo) hasta la mañana siguiente. Esta condición produce una atmósfera estable, que dificulta la dispersión de contaminantes. Durante el día el perfil térmico presenta un patrón normal, caracterizado por una disminución de la temperatura con la altura lo cual favorece la dispersión de contaminantes.

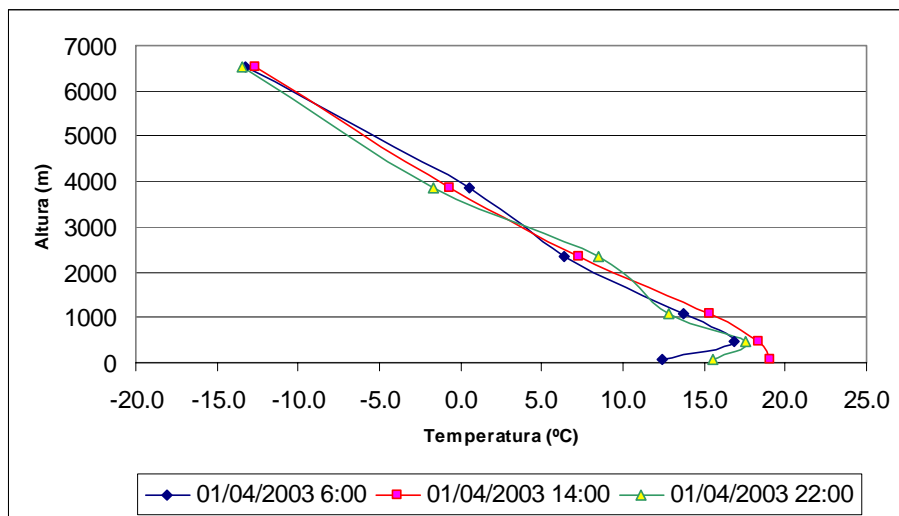


Figura 4.23 Perfil vertical de Temperatura, día 15 de mayo de 2004

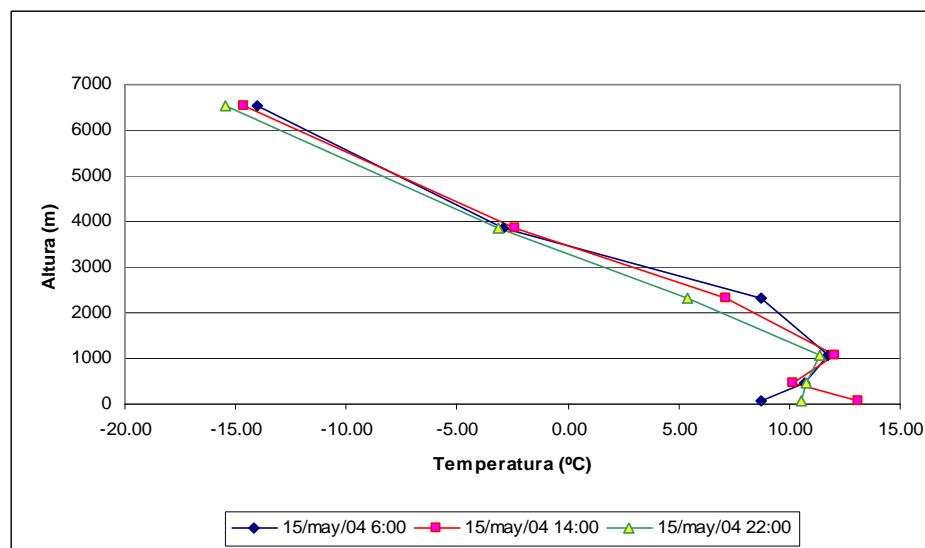


Figura 4.24 Perfil vertical de Temperatura, día 1 de abril de 2003



El Episodio del 2003, presenta un patrón de gradiente ambiental de temperatura similar al del año 2004, aún cuando en este último las temperaturas superficiales son menores que el 2003.

4.4.3 Altura de la capa de mezcla

La altura de la capa de mezcla es otro indicador relevante para explicar las altas concentraciones de PM10 en Temuco. La Figura 4.25 muestra el espesor de la capa de mezcla para el periodo del Episodio 1 y la Figura 4.26 el perfil temporal de la altura de mezcla para el Episodio 2. De dichas figuras se observa que los episodios en Temuco se correlacionan con la disminución del volumen de mezcla de los contaminantes. La Figura 4.27 muestra el espesor de la capa de mezcla y las concentraciones en 24 horas de PM10 para dos fechas de Mayo del 2004, en que se observa claramente el aumento en las concentraciones diarias de PM10 para el día con menor desarrollo de la capa de mezcla.

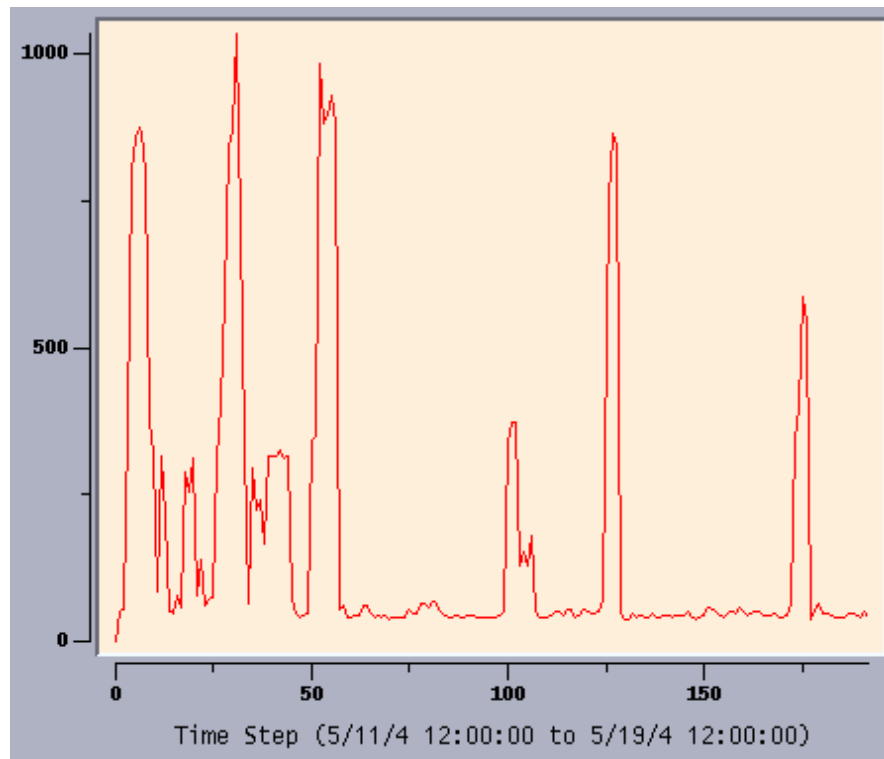


Figura 4.25 Altura de Mezcla Episodio 1 año 2004

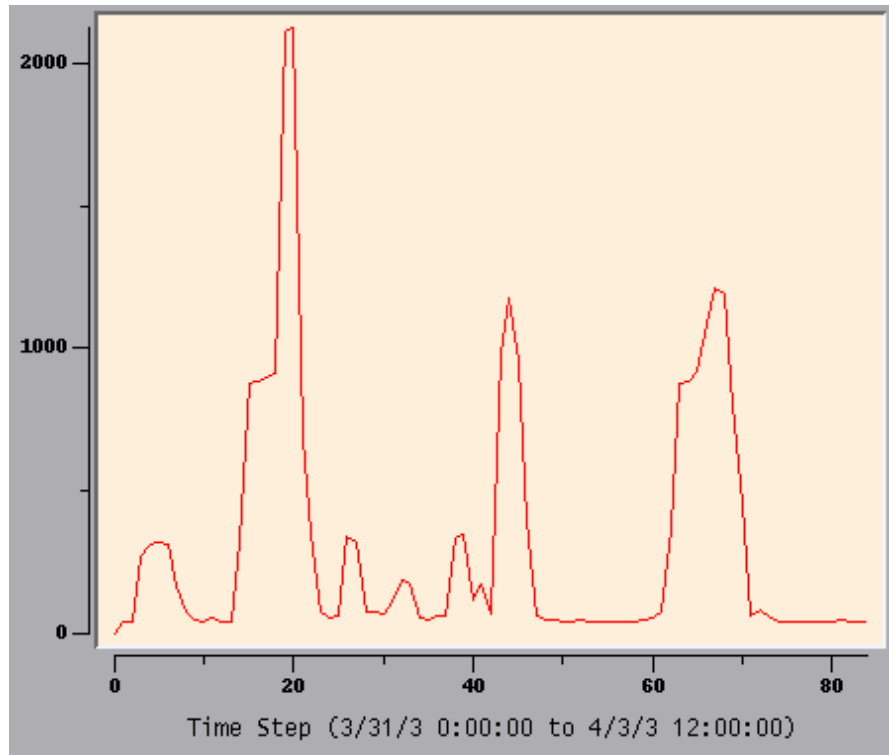


Figura 4.26 Altura de Mezcla Episodio 2 año 2003

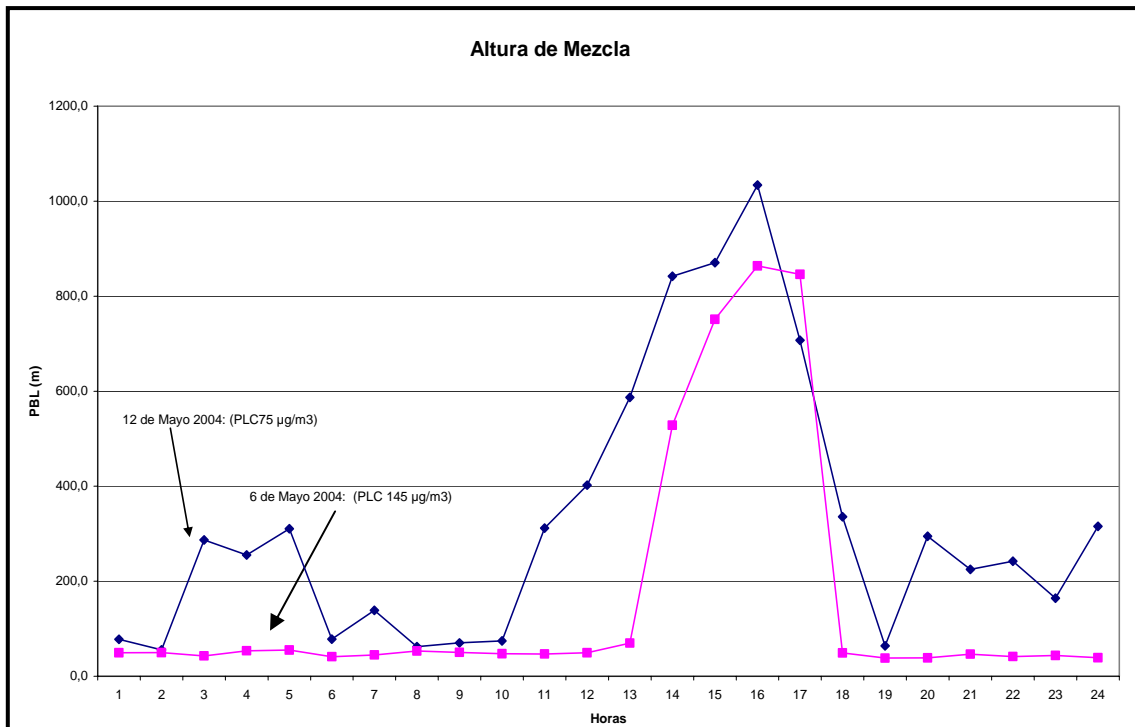


Figura 4.27 Espesor de la capa de mezcla y concentraciones diarias de PM10 en dos fechas de Mayo del 2004



V. INVENTARIO DE EMISIONES DE MATERIA PARTICULADA

En este capítulo se presenta el inventario de emisiones del año 2000 el cual es mejorado y actualizado al año 2004, y finalmente se comparan las estimaciones de emisiones con un inventario desarrollado para otra ciudad de tamaño similar a Temuco y Padre las Casas y cuyas emisiones provenientes del sector residencial representan también la proporción más significativa de la emisiones de PM10.

5.1 Análisis Inventario actual - 2000

El inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos de Temuco y Padre las Casas año 2000, realizado por el Centro Nacional del Medio Ambiente en el marco del proyecto "2ª Fase Estudio de la calidad del Aire en Regiones Urbano-Industriales de Chile" [4] entrega la emisión (ton/año) para Material Particulado, Compuestos orgánicos Volátiles (COV), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NOx), Óxidos de Azufre (SOx) y Amoniaco (NH₃) desagregada en sub-categorías de los tres grupos principales de fuentes. Inicialmente este inventario no considero las emisiones provenientes de la combustión residencial de leña, sin embargo, a partir de la encuesta del consumo de leña realizado por VITAE 2001, se pudo actualizar el inventario de emisiones incorporando las fuentes residenciales de PM10 producto de los sistemas de calefacción y cocina a leña.

La Tabla V.1 muestra el resumen del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos de Temuco y Padre las Casas año 2000, considerando la incorporación de las emisiones provenientes de la combustión residencial de leña.

El inventario del año 2000 no considero las emisiones provenientes de edificios que cuentan con calderas de calefacción en las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

Del inventario se desprende que las fuentes de emisiones fugitivas (polvo suspendido) son las que más aportan a las emisiones de MP representando al 77.3% del total de las emisiones, seguidas por las fuentes estacionarias con un 22.1% y las fuentes móviles con un 0.6%.

Al excluir las emisiones fugitivas, los pesos relativos de las emisiones de PM quedan en un 8.1% para fuentes puntuales, 83.2% fuentes residenciales, 6.1% quemadas agrícolas y un 2.6% para las fuentes móviles.



Tabla V.1 Resumen del inventario de Temuco y Padre las Casas, año 2000

SUB-GRUPO	CATEGORIA	SUB-CATEGORIA	MP [ton/año]	CO [ton/año]	NOx [ton/año]	COV ⁴ [ton/año]	SOx [ton/año]	NH3 [ton/año]	
FUENTES ESTACIONARIAS									
PUNTALES	Combustión	Combustión externa	39.40	77.25	45.50	1.08	312.07	14.23	
		Combustión interna	0	0	0	0	0	0	
	Procesos	Ind. metalúrgica secundaria	0.38	0.01	0.01	0	0.14	0	
		Ind. de productos minerales	77.73	0	0	0	0	0	
		Industria química	0	0	0	0	0	0	
		Ind. madera y el papel	41.23	0	0	825.81	0	0	
		Ind. aliment. y agropecuaria	58.21	3.49	0.50	0.06	0.19	0.96	
		Evaporativas puntuales	6.30	0	0	52.10	0	0	
	SUB-TOTAL PUNTALES			223.25	80.75	46.01	879.05	312.40	15.19
	AREALES	Residencial	Comb. ext. residencial	0.54	2.09	9.42	0.89	3.87	0.09
Comb. Residencial leña			2281.48	16190.79	224.63	6132.88	37.57	170.93	
Comerciales		Evaporativas residencial	0	0	0	1082.59	0	170.84	
		Evaporativas Comerciales	0	0	0	212.43	0	0	
Otras	Rest.s y comida rápida	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
	Disposición de residuos	0	0	0	0	0	0	0	
	Quemas	165.80	1011.26	4.87	170.40	0	5.74		
	Emissiones biogénicas	0	0	0	NE	0	0		
	Actividades agrícolas	0	0	0	0	0	0		
	No clasificados	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	
SUB-TOTAL AREALES			2447.82	17204.14	238.92	7599.19	41.44	347.6	
TOTAL FUENTES ESTACIONARIAS			2671.07	17284.89	284.93	8478.24	353.84	362.79	
FUENTES DE EMISIONES FUGITIVAS									
Construcción y Demolición			NE	0	0	0	0	0	
Polvo resuspendido			9340.20	0	0	0	0	0	
Preparación de terrenos agrícolas			0	0	0	0	0	0	
TOTAL FUENTES DE EMISIONES FUGITIVAS			9340.20	0	0	0	0	0	
FUENTES MOVILES									
EN RUTA			70.62	7270.85	1283.09	1090.11	67.90	9.51	
FUERA DE RUTA			0	112.77	53.59	28.54	0	0	
TOTAL EMISION FUENTES MOVILES			70.62	7383.62	1336.68	1118.65	67.90	9.51	
TOTAL INVENTARIO			12081.89	24668.51	1621.61	9596.89	421.74	372.3	

NE= No estimado



5.2 Mejoramiento y Actualización del Inventario de Emisiones de PM10 al año 2004

Una de las actividades de este estudio ha sido mejorar y actualizar el inventario de emisiones de materia particulada de las Comunas de Temuco y Padre Las Casas. Es así como el mejoramiento se materializa al incluir fuentes no consideradas en el año 2000, tales como los aportes de los edificios que cuentan con sistemas de calefacción (calderas) y en considerar distintos factores emisivos para fuente de quemas agrícolas e incendios forestales.

La actualización del inventario consistió en la inclusión de más fuentes puntuales (industrias), en la actualización de las fuentes móviles de acuerdo al último estudio de flujos y emisiones desarrollado por SECTRA en Temuco el año 2005, en la actualización de las hectáreas quemadas por incendios forestales y quemas agrícolas al año 2004 y en la actualización de las emisiones residenciales producto de la combustión de leña.

Aún cuando los factores de emisión son esenciales para estimar emisiones (en ausencia de emisiones) es necesario notar que estos factores representan una emisión promedio y proveen una indicación global de la magnitud de las descargas de varias fuentes. Estos valores cuando se combinan con niveles de actividad promedio e información de consumo de combustibles entregan solo una medida aproximada de la contribución promedio de cada sector.

5.2.1 Fuentes Puntuales

Las fuentes Puntuales consideran las emisiones de las industrias y las calderas de calefacción de edificios. Cabe notar que las emisiones de material particulado se expresan en términos de PM10 ó PTS dependiendo de los factores de emisión disponible.

- **Fuentes Industriales**

La base de fuentes industriales considera 29 empresas con un total de 113 fuentes puntuales desagregadas en tres tipos de categorías: Procesos (68), Combustión (40), y Evaporativas (5).

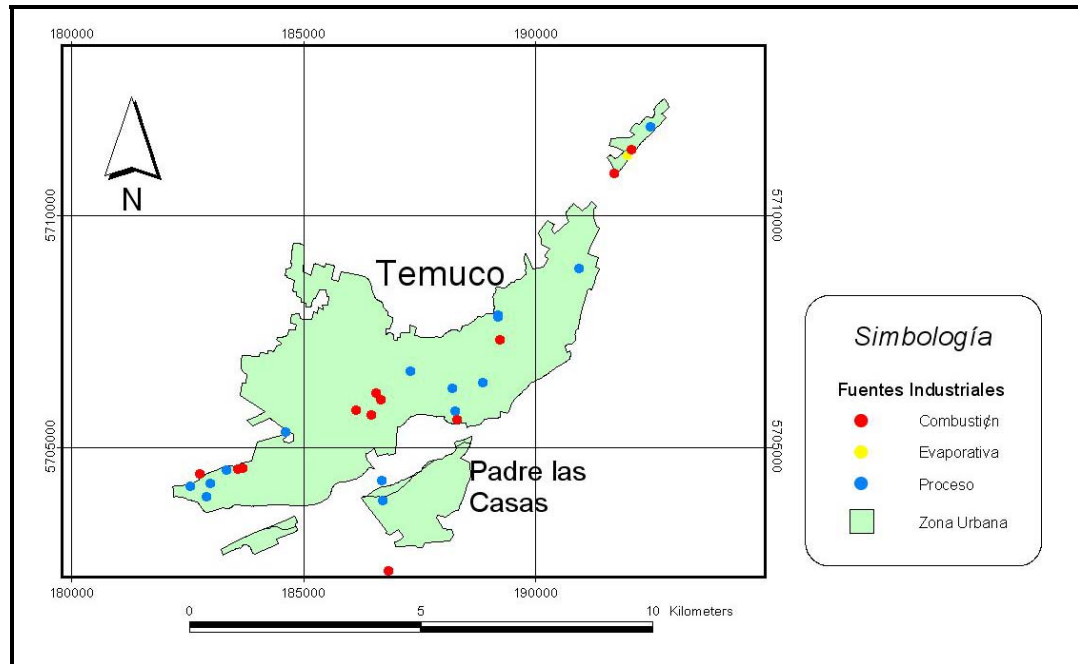
La categoría Procesos Industriales agrupa a aquellas fuentes asociadas a un proceso productivo específico. Ejemplos: industrias químicas, de alimentos, procesadoras de pescado, forestales, de celulosa, de minería metálica y no metálica, etc.

La categoría de Combustión, agrupa a aquellas fuentes cuya función es la generación de energía por medio de procesos la combustión donde no participan materias distintas al combustible. Se subdividen, a su vez, en fuentes de combustión interna y externa. Ejemplos: calderas, turbinas de generación eléctrica y los grupos electrógenos.

La categoría Evaporativas agrupa a aquellas fuentes de alta incidencia en la emisión de COVs y cuyo mecanismo de emisión es la evaporación, tales como almacenamiento de combustibles y emisiones desde procesos industriales que manejan productos que dan lugar a este tipo de emisiones, como estampado de telas, fabricación de artículos de plástico, entre otros.



La Figura 5.1 muestra la distribución de las fuentes industriales en Temuco y Padre las Casas. De ella se observa que las industrias se localizan a lo largo del eje de la ruta 5.



La Tabla V.2 muestra el consumo por tipo de combustible para la categoría de fuentes de combustión

Tabla V.2 Consumo anual (Kg/año) por tipo de combustible para fuentes tipo Combustión

Combustible	Consumo (kg/año)
	Combustión
Carbón	4747500
Petróleo	2213860
Petróleo N°2	215423
Petróleo N°5	2317775
Petróleo N°6	691579
Madera	9489781

Cabe notar que las emisiones de los procesos industriales que utilizan electricidad como combustible, no generan directamente materia particulada, sino que producto de sus actividades, se generan emisiones fugitivas de este contaminante. Esta emisión se estima utilizando factores emisivos utilizados por el estudio de CENMA [4].

Dado que el consumo de combustible de las fuentes industriales de tipo Combustión está dado en Kilos al año, sólo es posible obtener las emisiones de MP a esta resolución temporal.

Para el cálculo de la emisión de MP para este tipo de fuentes, se utilizaron los factores emisivos del estudio realizado por CENMA 2000. [4], ver Tabla V.3



Tabla V.3: Factor emisor Kg MP/Kg combustible

Tipo de Combustible Genérico	Factor MP
CARBON	0.00310
MADERA	0.00320
PETROLEO N°6	0.00125
PETROLEO N°5	0.00089
PETROLEO N°2	0.00020
GAS	0.00013
GAS NATURAL	0.00017
Desecho de Leña en Proceso	0.00320

Fuente CENMA 2000

Utilizando la información de las Tablas V.2 y V.3, se estimaron las emisiones de MP por categoría de fuente Industrial. Ver Tabla V.4

Tabla V.4: Emisión de MP (Ton/año) de fuentes industriales por categoría

CATEGORIA	Emisión MP
	2004
Combustión	49.66
Procesos	181.94
Evaporativa	6.30
Total	237.90

La Figura 5.2 muestra la distribución de las emisiones de MP, según tipo de combustible utilizado por las fuentes industriales de Temuco y Padre las Casas.

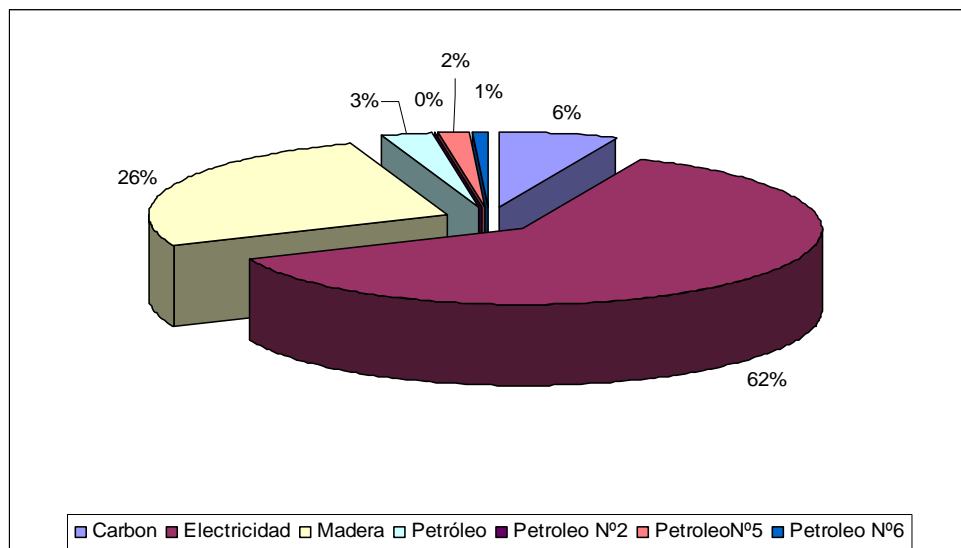


Figura 5.2 Porcentaje de emisión Materia Particulada proveniente de fuentes industriales, por tipo de combustible

La distribución espacial de las emisiones de MP debido a las fuentes puntuales industriales se muestra en la Figura 5.3. De ella se observa que las mayores emisiones se concentran en el área sur-oeste de la ciudad.

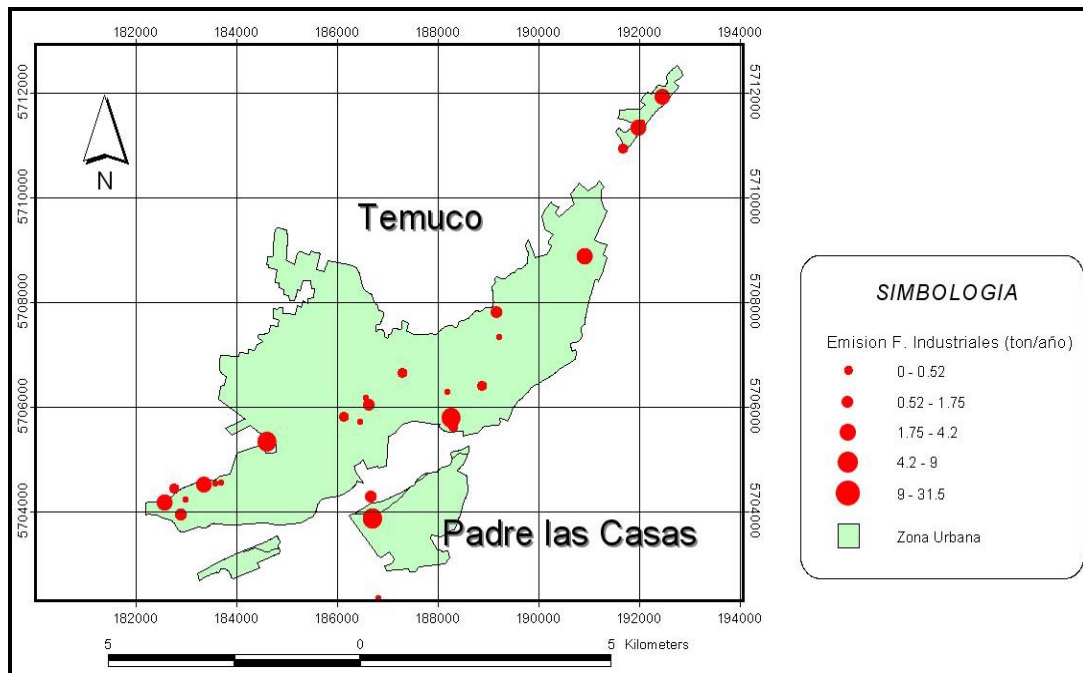


Figura 5.3 Distribución espacial de emisiones de MP debido a fuentes industriales

- **Edificios**

El inventario de calderas para calefacción de edificios considera una base de 108 fuentes concentradas principalmente en el centro de la ciudad. La distribución espacial de los edificios, considerando los distintos tipos de combustibles de las calderas se muestra en la Figura 5.4.

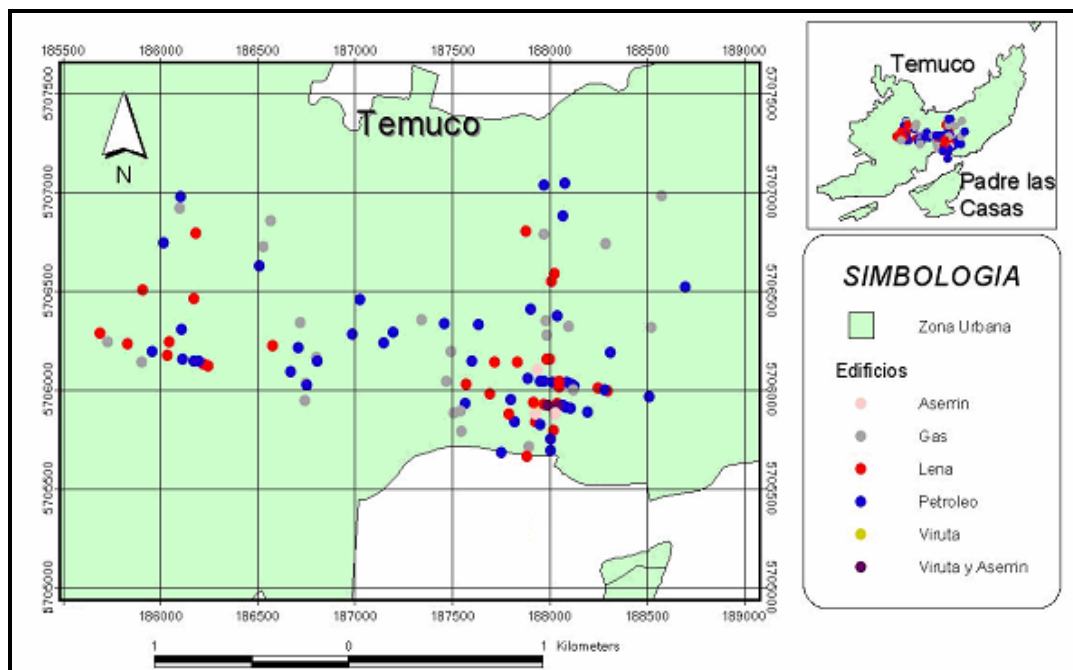


Figura 5.4 Distribución espacial de edificios del centro de Temuco.



La distribución del tipo de combustible utilizado en las calderas de calefacción de los edificios en las ciudades de Temuco y Padre las Casas se muestra en la Figura 5.5. De esta se desprende que el 43% de los edificios considerados en el inventario de emisiones consume Petróleo, mientras que un 28% utiliza leña como combustible.

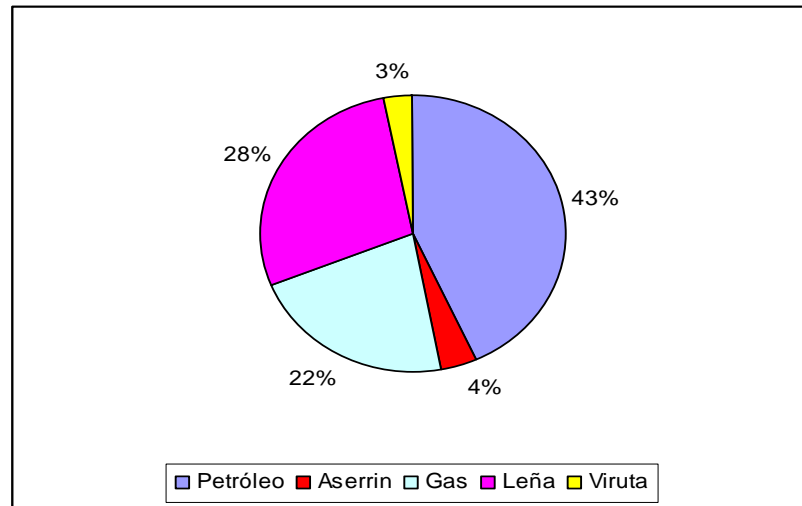


Figura 5.5 Tipo de combustible utilizado por los edificios de Temuco.

La Tabla V.5 muestra el consumo (Kg/año) por tipo de combustible utilizado por las calderas de calefacción de los edificios de Temuco.

Tabla V.5 Consumo (Kg /año) por tipo de combustible

Combustible	Consumo (Kg/año)	%
Aserrín	36000	0.4
Gas	4785	0.1
Leña	4908195	57.9
Petróleo	2414953	28.4
Viruta	1120000	13.2

De la Tabla V.5 se desprende que los combustibles más consumidos por las calderas de los edificios son la leña, seguida por el petróleo, esto aún cuando la mayoría (43%) utiliza petróleo como combustible, y sólo un 28% de las calderas usan leña (ver Figura 5.5).

Dado que no existen mediciones ni factores de emisión para calderas de calefacción a leña en edificios, se ajustaron los factores emisivos ocupados para las fuentes industriales a través de la homologación del tipo de combustible utilizado por la caldera. La Tabla V.6 muestra los factores utilizados para la estimación de emisiones de material particulado proveniente de los sistemas de calefacción de edificios.

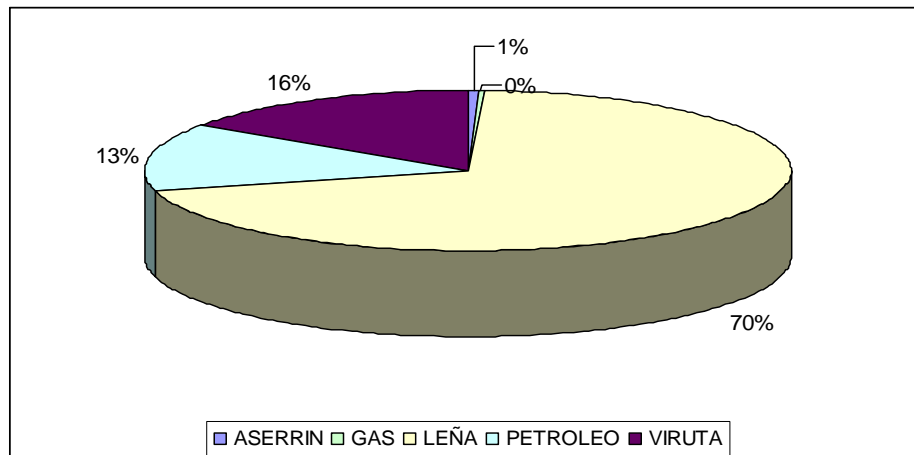
**Tabla V.6 Factor de Emisión Kg MP/Kg combustible**

Tipo de Combustible Genérico	Factor MP
CARBON	0.00310
MADERA	0.00320
PETROLEO	0.00125
GAS	0.00013
GAS NATURAL	0.00017
Desecho de Leña en Proceso	0.00320

Fuente CENMA 2000

Al utilizar los factores de emisión de la Tabla V.6, con los niveles de actividad de Tabla V.5, se obtiene un total de 21,01 toneladas de MP al año. Dado que el consumo de combustible de las calderas está dado en Kilos al año, sólo es posible obtener las emisiones de MP a esta resolución temporal.

La Figura 5.6 muestra la distribución de las emisiones de MP por tipo de combustible, debidas a los edificios que cuentan con calderas de calefacción en Temuco y Padre las Casas.

**Figura 5.6 Distribución de emisión de Materia Particulada de las calderas de edificios, por tipo de combustible**

De la Figura 5.6 se desprende que las calderas de edificios que funcionan a leña, aportan un 70% del total de las emisiones provenientes de este tipo de fuentes, seguidas por las calderas a viruta con un 16%.

La distribución espacial de las emisiones de MP debido a las calderas de calefacción de edificios se muestra en la Figura 5.7. De ella se observa que las mayores emisiones se concentran en el centro de Temuco.

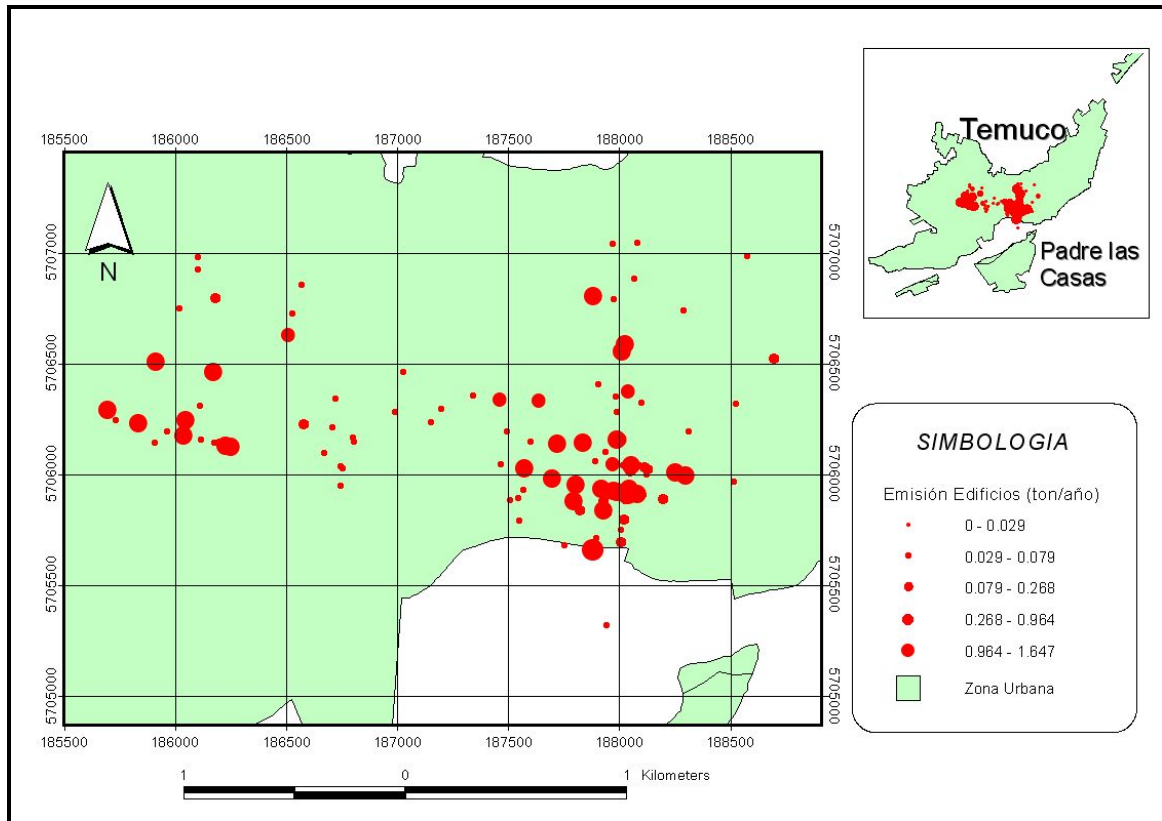


Figura 5.7 Distribución espacial de emisiones de MP debido a Calderas de calefacción de edificios

5.2.2 Fuentes Móviles

La emisión de Material Particulado (PM10) producto de las fuentes móviles en la ciudad de Temuco, fue estimada para el año 2004 por Suroeste consultores para SECTRA, dentro del marco del estudio "Investigación de instrumentos de planificación ambiental para ciudades intermedias, etapa II" [5]

Para el cálculo de las emisiones fue utilizado el modelo MODEM2, cuyos parámetros y datos de entrada son los flujos vehiculares, la composición del parque vehicular y los factores emisivos principalmente. Un apoyo importante para esta modelación, son los resultados de los proyectos estratégicos realizados por SECTRA, que tienen relación con la caracterización del comportamiento del sistema de transporte en ciudades intermedias del país.

En Temuco y Padre Las Casas, se aplicó el modelo de transporte VIVALDI que corresponde a la solución el modelo clásico de transporte de cuatro etapas. Los parámetros de salida de este modelo son complementarios al modelo MODEM2, los que permiten finalmente obtener la emisión por concepto de fuente móvil. Los parámetros que se utilizan para ello son: la red vial modelada, los flujos, las velocidades, la composición del parque vehicular y finalmente los factores emisivos.



- **Parque vehicular de Temuco y Padre Las Casas**

Una de las variables necesarias para el cálculo de emisiones de PM10 producto de fuentes móviles, es la composición del parque vehicular. Para categorizar este parque, se distinguieron 6 tipos de vehículos considerados por el inventario del año 2005: Buses, Camiones, Vehículos Particulares, Taxis, Vehículos comerciales y Motocicletas. En la Tabla V.7 se muestra la composición del parque vehicular de Temuco y PLC según esta clasificación.

Tabla V.7 Composición del parque vehicular de Temuco y PLC.

Tipo de Vehículo	Número
Buses	1692
Camiones	4799
Vehículos particulares	18730
Taxis	1642
Vehículos comerciales	13390
Motocicletas	356
Total	40609

Fuente: SECTRA 2005

De la Tabla V.7 se desprende que la mayor parte de la flota vehicular en Temuco y Padre Las Casas la componen los vehículos particulares. La Figura 5.8 muestra la distribución del parque vehicular.

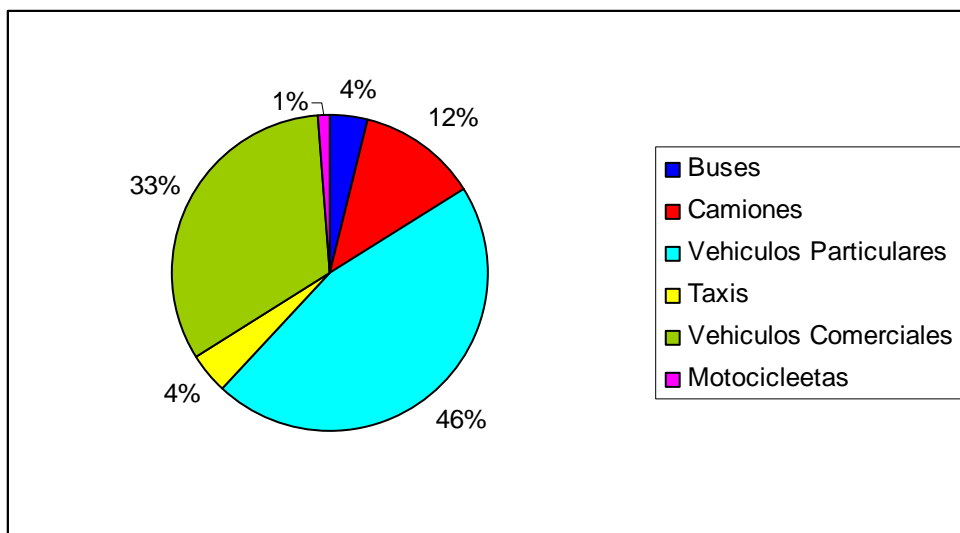


Figura 5.8 Composición del parque vehicular en Temuco y Padre Las Casas

En la estimación del inventario de emisiones, se consolidó una red vial relevante, constituida por 610 arcos cuya extensión es de 147 Km. En la Figura 5.9 se presenta la red vial de Temuco y Padre Las Casas utilizada en la estimación del inventario.

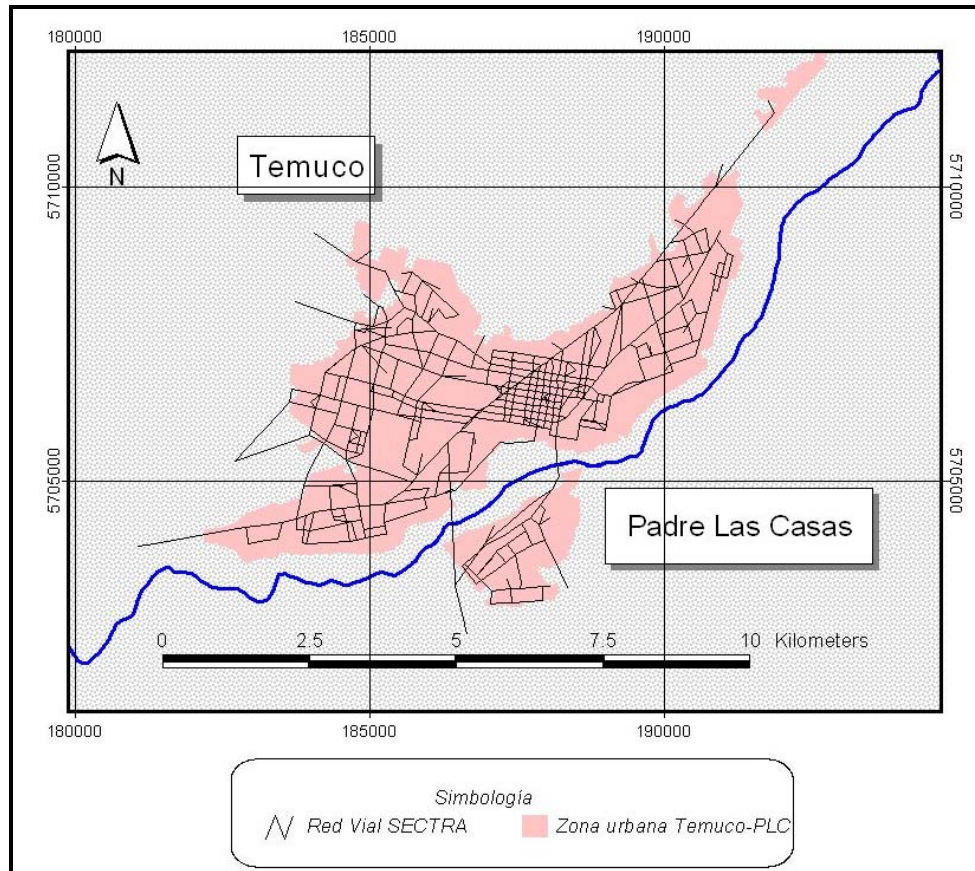


Figura 5.9 Red vial relevante de Temuco y Padre Las Casas

Sobre esta red vial se calcularon los flujos vehiculares de la ciudad y las velocidades de circulación de cada arco, parámetros necesarios para el cálculo de la emisiones provenientes de este tipo de fuentes (Ver ecuación 5.1).

$$E(\text{hora})_{ijk} = FT_{jk} * L_j * FE(v)_{ik} * PF(\text{hora})_{jk} * C(\text{hora})_{jk} \quad \text{Ecuación (5.1)}$$

Donde:

- $E(\text{hora})_{ijk}$: Emisiones del contaminante i considerado (gr), en un arco j y para la categoría vehicular k en una hora determinada.
- FT_{jk} : Flujo vehicular total (veh/h), en un arco j y para la categoría vehicular k .
- L_j : Largo del arco j evaluado.
- $FE(v)_{ik}$: Factor de emisión dependiente de la velocidad del contaminante i para la categoría vehicular k (gr/km).
- $PF(\text{hora})_{jk}$: Perfil del flujo correspondiente al arco j y a la hora evaluada.
- $C(\text{hora})_{jk}$: Composición o fracción del flujo total en el arco j perteneciente a la categoría vehicular k , para la hora evaluada.

Los factores de emisión referidos en la ecuación anterior y que fueron utilizados en este estudio, pertenecen en su mayoría al modelo europeo COPERT en las versiones II y III. Dado que el estudio de SECTRA no estimó emisiones de PM10 para vehículos livianos a gasolina (pasajeros, taxis, comerciales, motocicletas), se utilizaron los resultados del



inventario de emisiones de la región Metropolitana CONAMA 2000 (en el que se calculó la emisión de PM10 de este tipo de vehículos), para estimar un factor para este tipo de fuentes, y considerarla así en el inventario. La tasa de emisión por tipo de vehículo se muestra en la Tabla V.8

Tabla V.8 Emisión de PM10 por tipo de vehículo según Inventario Región Metropolitana

Tipo de vehículo		Total PM10 (ton/año)	Nº Vehículos Santiago	ton PM10/año-veh (x10 ⁻⁴)
Particulares	Catalítico	100	433067	2.31
	No Catalítico	34	144356	2.36
Taxis	Catalítico	29	46643	6.22
	No Catalítico	3	10262	2.92
Comerciales	Catalítico	42	159163	2.64
	No Catalítico	16	55922	2.86
Motos	4 tiempos	1	12740	0.79

Fuente CONAMA 2000

La emisión de PM10 estimada por el modelo MODEM2 se muestra en la Tabla V.9.

Tabla V.9 Emisión de PM10 utilizando factores de COPERT

Categoría de vehículo	PM10 (ton/año)
Buses	32.0
Camiones	11.4
Vehículos Comerciales (Diesel)	2.5
Total	45.9

La Tabla V.10 muestra la emisión de los vehículos particulares, de alquiler, comerciales y motos a gasolina calculada a través del factor de ajuste mostrado en la Tabla V.8.

Tabla V.10 Emisión (ton/año) de PM10 en Temuco y PLC.

Tipo de vehículo		ton PM10/año-veh (x10 ⁻⁴)	Nº Vehículos Temuco PLC	PM10 (ton/año)
Particulares	Catalítico	2.31	11775	2.7
	No Catalítico	2.36	6955	1.6
Taxis	Catalítico	6.22	1322	0.8
	No Catalítico	2.92	320	0.1
Comerciales	Catalítico	2.64	6815	1.8
	No Catalítico	2.86	4181	1.2
Motos	4 tiempos	0.79	234	0.02
TOTAL			31602	8.22

Finalmente las emisiones de Material Particulado de la ciudad de Temuco y Padre Las Casas, por concepto de fuentes móviles, se resumen en la Tabla V.11.



Tabla V.11 Emisiones (ton/año) de Material Particulado.

Categoría de vehículo	PM10 (ton/año)
Buses	32.0
Camiones	11.4
Vehículos Particulares	4.3
Taxis	0.9
Vehículos Comerciales	5.5
Motocicletas	0.02
Total	54.12

Este inventario corresponde a la actualización de las emisiones de fuentes móviles para el año 2004 en la Ciudad de Temuco y Padre Las Casas. Las responsabilidades en la emisión de PM10 se muestran en la Figura 5.10.

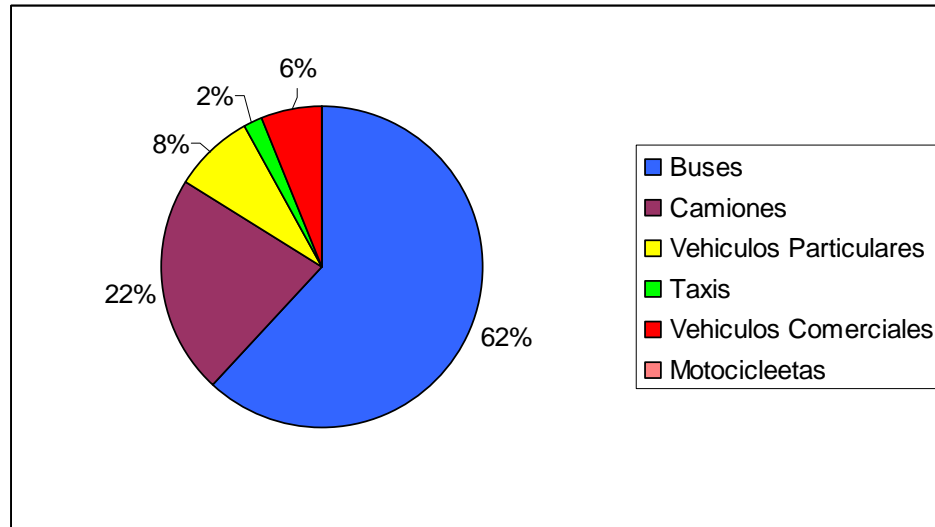


Figura 5.10 Responsabilidad de las emisiones total de las fuentes móviles.

De la Figura 5.10 se desprende que buses y camiones son responsables del 84% de la emisión de PM10, pero su participación en el parque vehicular es tan solo de un 16% del total de vehículos (ver Figura 5.8).



5.2.3 Fuentes Areales

Las fuentes areales consideran la combustión residencial, quemas agrícolas, e incendios forestales.

- **Combustión residencial**

El inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos de Temuco y Padre Las Casas año 2004 considera la actualización de las emisiones de PM10 provenientes de la combustión residencial de leña.

El aporte de PM10 proveniente de la combustión residencial de leña se estimó utilizando el modelo de cálculo de emisiones desarrollado en el estudio "Diseño de escenarios para apoyar la gestión del aire en Temuco y Padre las Casas" [3], éste modelo permite proyectar las emisiones de PM10 (toneladas al año) por zona conociendo el número de viviendas y la distribución porcentual según nivel socioeconómico del año que se requiera evaluar. La Tabla V.12 muestra el total de viviendas en Temuco y Padre las Casas (año 2004) y su distribución por nivel socioeconómico.

Tabla V.12 Número de viviendas y distribución socioeconómica en Temuco y Padre las Casas, año 2004

Año	Nº de Viviendas	Nivel Socioeconómico		
		Alto	Medio	Bajo
2004	76289	8621	24336	43332

Fuente [3]

Utilizando el modelo de cálculo de emisiones con los datos del total de viviendas y su distribución según nivel socioeconómico para el año 2004, se determinó el consumo anual de leña por vivienda según tipo de artefacto y humedad de la leña (ver Tabla V.13)

Tabla V.13 Consumo de leña (m³/año) por vivienda y estado de la leña

Humedad	Tipo de artefacto	Consumo leña (m ³ /año) por vivienda	%
Seco	Cocina	29375.3	9.7
	Salamandra	4676.7	1.5
	Estufa simple	20455.5	6.8
	Estufa doble cámara	3301.7	1.1
	Chimenea	2662.7	0.9
Húmedo	Cocina	117501.3	38.9
	Salamandra	18706.7	6.2
	Estufa simple	81821.9	27.1
	Estufa doble cámara	13206.8	4.4
	Chimenea	10650.7	3.5

De la Tabla V.13 se desprende que el 80% de la leña consumida por vivienda en un año es húmeda, siendo la cocina la que presenta el mayor consumo alcanzando un 48.6%, seguida por la estufa simple con un 33.9% del total de leña consumida.



En la Tabla V.14 se muestran los factores de emisión considerados en el modelo de cálculo de emisiones por tipo de artefacto y estado de la leña (seca y húmeda), los cuales corresponden a los máximos factores encontrados tanto en literatura nacional como internacional.[3]

Tabla V.14 Factores emisivos de MP10 por tipo de artefacto

Humedad de la Leña	Tipo de Artefacto	Factor de Emisión de MP10 (g/Kg)
Seca	Cocina	15.3
	Salamandra	8.5
	Estufa simple	8.1
	Estufa doble cámara	8.1
	Chimenea	16.6
Húmedo	Cocina	17.3
	Salamandra	15.9
	Estufa simple	15.3
	Estufa doble cámara	10.2
	Chimenea	17.3

Fuente [3]

De esta forma la emisión de PM10 estimada para el año 2004 producto de la combustión residencial de leña en Temuco y Padre Las Casas es 3238.29 ton/año.

La distribución de la emisión de PM10 por tipo de artefacto y humedad de la leña se muestra en la Tabla V.15

Tabla V.15 Emisión de PM10 por tipo de artefacto y estado de la leña

Humedad	Tipo de artefacto	Emisión (ton/año)	%
Seco	Cocina	314.61	9.7
	Salamandra	27.83	0.9
	Estufa simple	115.98	3.6
	Estufa doble cámara	18.72	0.6
	Chimenea	30.94	1.0
Húmedo	Cocina	1422.94	43.9
	Salamandra	207.68	6.4
	Estufa simple	876.31	27.1
	Estufa doble cámara	94.30	2.9
	Chimenea	128.98	4.0

De la Tabla V.15 se desprende que los mayores aportes de PM10 provienen del uso de leña húmeda alcanzando un 84.3% del total de las emisiones, siendo las cocinas y estufas simples las responsables de los mayores aportes (71%).

La Figura 5.11 muestra los aportes de PM10 por tipo de artefacto, donde destaca la emisión debido a las cocinas con un aporte del 54% seguida por las estufas simples con un 31% del total de las emisiones por concepto de combustión residencial de leña.

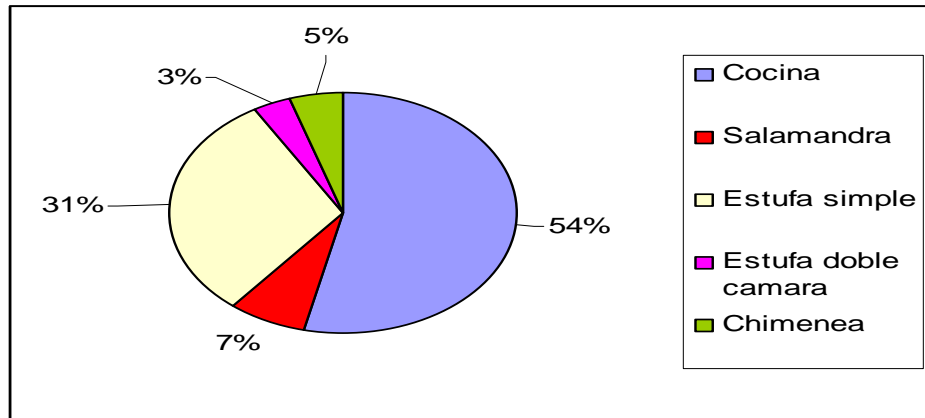


Figura 5.11 Responsabilidad de las emisiones por tipo de artefacto, año 2004

La Figura 5.12 muestra la distribución de las emisiones de PM10 provenientes de la combustión residencial de leña por zonas en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, año 2004.

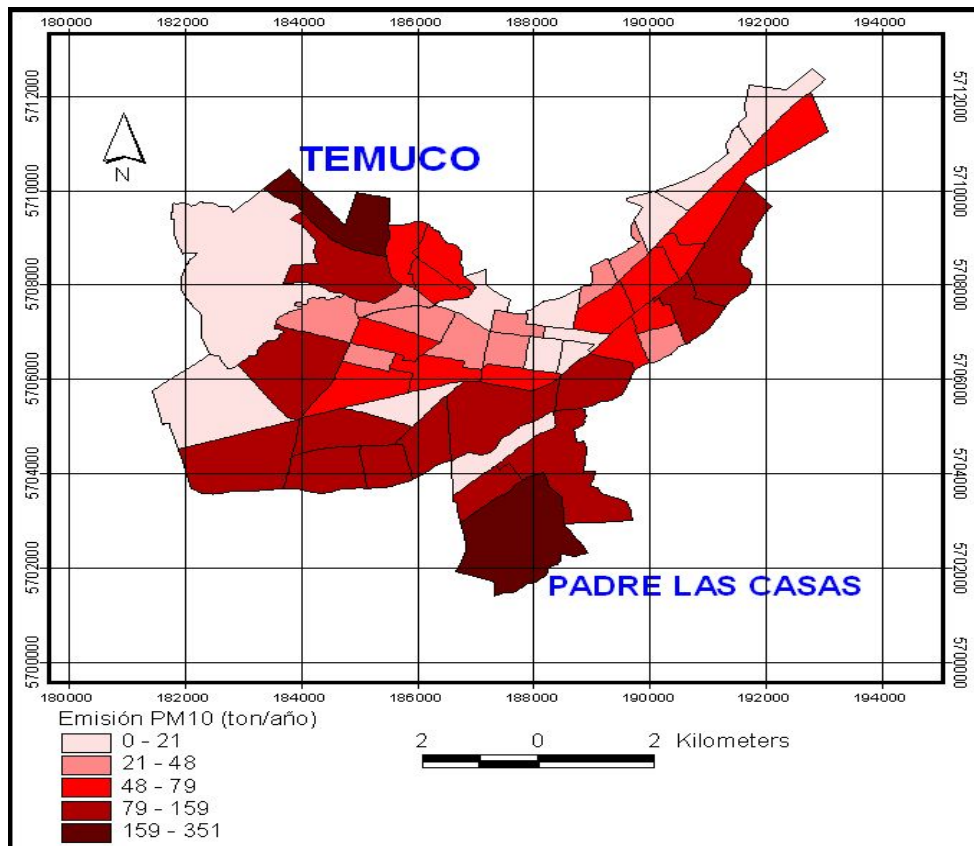


Figura 5.12 Distribución de emisiones PM10 debido a la combustión residencial de leña, año 2004



- **Quemas Agrícolas**

La información de las hectáreas quemadas por actividades agrícolas y su localización espacial se obtuvo del registro de quemas autorizadas administradas por CONAF para los años 2003-2004.

La Figura 5.13 muestra la distribución espacial de las quemas agrícolas registradas durante el año 2004. De ella se observa que las quemas abarcan un amplio sector, distribuyéndose tanto hacia el norte, sur, y poniente de la ciudad.

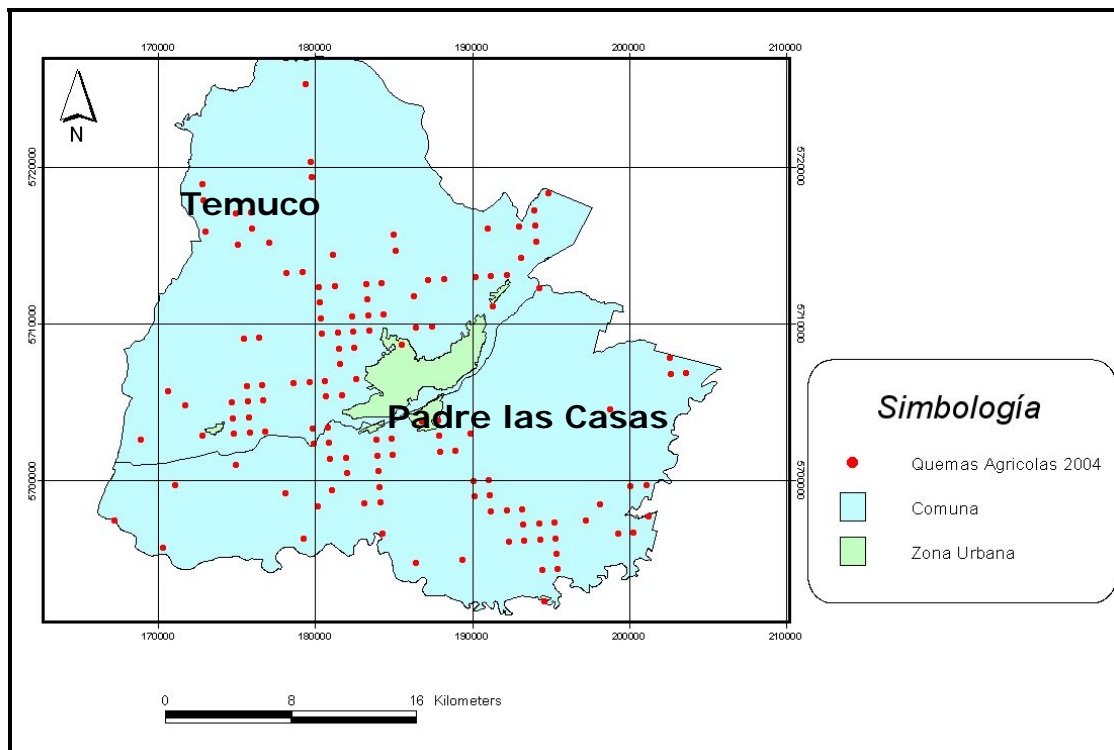


Figura 5.13 Distribución de las quemas agrícolas en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, año 2004.

Aunque el período permitido de quemas agrícolas se extiende desde Noviembre hasta Enero y Marzo de cada año, existen quemas registradas fuera de ese período las cuales se realizan a través de permisos especiales.

La cantidad de superficie quemada por mes en el año 2004 se muestra en la Tabla V.16

**Tabla V.16 Superficie quemada (ha) por mes para el año 2004**

Mes	Superficie Quemada (ha)	%
Enero	1.75	0.1
Febrero	-	-
Marzo	2567.25	93.4
Abril	54.05	2.0
Mayo	112	4.1
Junio	0.15	0.0
Julio	-	-
Agosto	-	-
Septiembre	0.10	0.0
Octubre	2.00	0.1
Noviembre	6.10	0.2
Diciembre	5.31	0.1
TOTAL	2748.71	

De la tabla V.16 se desprende que en Marzo se quemó 93.4% del total de superficie quemada el año 2004.

Las emisiones de material particulado provenientes de las quemas agrícolas realizadas en las comunas de Temuco y Padre Las Casas se estimaron utilizando el mismo factor emisor empleado por CENMA en el inventario 2000 (CARB), además de factores de emisión del AP42 y de Texas [6], estos dos últimos bajo el supuesto de que el material quemado corresponde a cereales. Los factores utilizados se muestran en la Tabla V.17.

Tabla V.17 Factores emisivos de Material Particulado por Quemadas Agrícolas de cereales

Fuente	Factor de Emisión (Kg/ha)
CENMA	35.83
AP42	47.3
Texas	19.27

Las emisiones de MP debido a las quemas agrícolas se estimaron considerando el total de hectáreas quemadas el año 2004 (ver Tabla V.14) y los factores de emisión presentados en la Tabla V.17

La Tabla V.18 muestra la emisión de materia particulada proveniente de quemas agrícolas, según factores emisivos de CENMA, AP42 y Texas.



Tabla V.18 Emisión de Material Particulado (ton/año), según factor emisor

Factor	Emisión MP (ton/año)
CENMA	98.49
AP 42	130.01
Texas	52.97

La Figura 5.14 muestra la distribución espacial de las emisiones de MP (obtenidas con el factor del AP42), debidas a las quemas agrícolas registradas el año 2004 en las comunas de Temuco y Padre las Casas. De ella se observa que las quemas que aportan mayores emisiones de MP están distribuidas en los límites suroeste y noreste de dichas comunas.

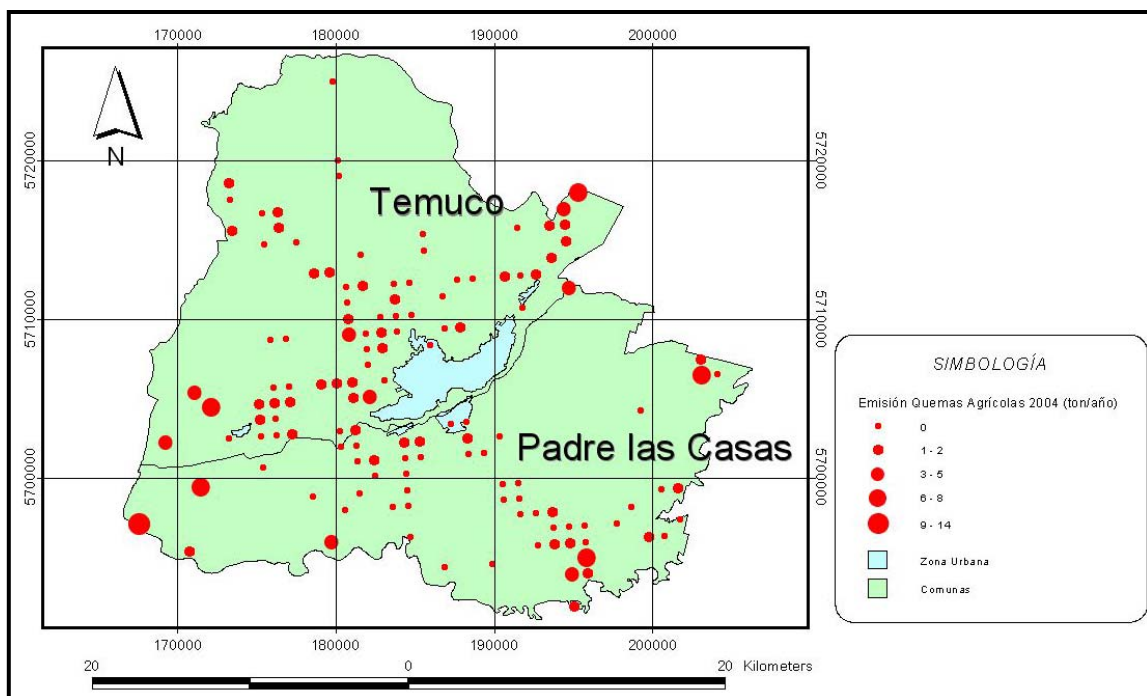


Figura 5.14 Distribución espacial de emisiones de MP debido a Quemias agrícolas



- **Incendios Forestales**

La información de los incendios forestales ocurridos el año 2004 en las comunas de Temuco y Padre las Casas se obtuvo del registro de incendios forestales administrado por CONAF mediante la unidad de gestión de manejo del fuego, dicho registro identifica el periodo de ocurrencia de los incendios, su localización y el total de superficie quemada entre otras cosas. Es así como para el año 2004 se registraron 7 incendios forestales cuya distribución espacial se muestra en la Figura 5.15.

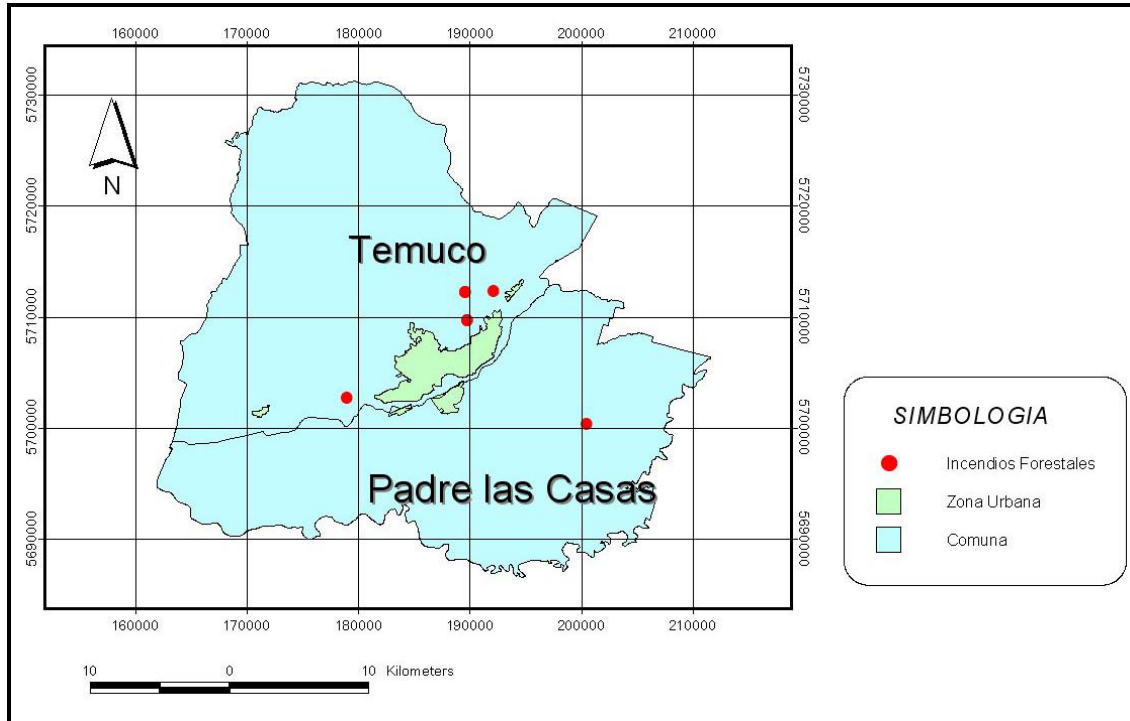


Figura 5.15 Distribución de los incendios forestales ocurridos en Temuco y Padre las Casas, año 2004

Si bien los incendios registrados en Temuco y Padre las Casas el año 2004 fueron 7, en la Figura 5.15 aparecen solo 5 debido a que dos de ellos ocurrieron en el mismo sector pero en periodos distintos.

La Tabla V.19 muestra la superficie (hectáreas) quemada por incendios forestales al mes, en las comunas de Temuco y Padre las Casas el año 2004. De esta se desprende que en otoño se quemó un 79% del total de las hectáreas consumidas por incendios forestales en dicho año.



Tabla V.19 Superficie (ha/mes) quemada por incendios forestales, año 2004

Mes	Superficie Quemada (ha)
Enero	-
Febrero	-
Marzo	-
Abril	67
Mayo	25.2
Junio	-
Julio	-
Agosto	-
Septiembre	25
Octubre	-
Noviembre	-
Diciembre	-
Total	117.2

Para determinar la emisión de materia particulada debido a los incendios forestales se utilizó el factor empleado por CENMA (CARB) para elaborar el inventario 2000, además del factor contenido en el AP42. Este último se utilizó bajo el supuesto de que la superficie quemada corresponde a coníferas (pino), especie característica dentro de la región.

La Tabla V.20 muestra los factores emisivos utilizados para estimar el aporte de material particulado proveniente de los incendios forestales.

Tabla V.20 Factor de Emisión de Material Particulado para Incendios Forestales

	Factor de Emisión (Kg/ha)
CENMA	705.58
AP42	264

La emisión de materia particulada debido a los incendios forestales se estimó considerando la superficie quemada (ha/año) y los factores emisivos presentados en las Tablas V.19 y V.20, respectivamente.

La Tabla V.21 muestra la emisión MP estimada según factor utilizado

Tabla V.21 Emisión de MP (ton/año) debida a incendios forestales, según factor

Factor	Emisión MP (ton/año)
CENMA	82.69
AP42	30.94



La Figura 5.16 muestra la distribución de las emisiones (considerando factor emisor AP42) producto de los incendios forestales registrados el año 2004 en las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

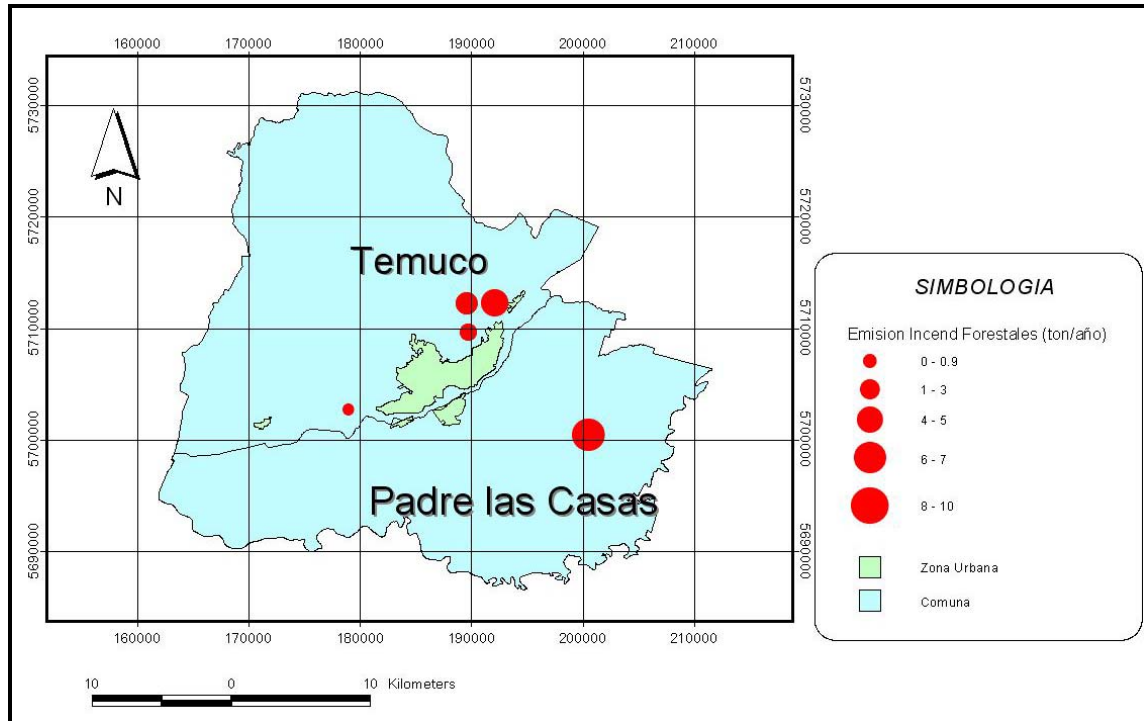


Figura 5.16 Distribución espacial de emisiones de MP debido a Incendios Forestales



5.3 Comparación de inventarios 2000 y 2004

Ambos inventarios de PM10 (2000 y 2004) se han basado en factores de emisión, siendo el 2004 una versión mejorada al incluir más fuentes puntuales (industrias y edificios) y al actualizar las emisiones vehiculares, residenciales, quemas agrícolas, e incendios forestales.

Para el inventario de emisiones 2004 se utilizaron diversos factores emisivos para las quemas agrícolas e incendios forestales (CARB, Texas, y AP42). La emisión residencial se ha estimado utilizando factores del AP42, Suizos y Alemanes.

De la comparación de los inventarios (2000 y 2004) se desprende que el incremento más importante es con respecto a las fuentes areales, producto de la actualización de la combustión residencial de leña que aporta al año 2004, 3238.29 toneladas de PM10, lo que equivale a un 87% de las emisiones estimadas para el año 2004, sin considerar las emisiones fugitivas (ver Tabla V.22).

Tabla V.22 Tabla comparativa de los inventarios año 2000 y 2004

SUB-GRUPO	CATEGORIA	SUB-CATEGORIA	Emisión MP [ton/año]			
			2000	2004 ¹	2004 ²	2004 ³
FUENTES ESTACIONARIAS						
PUNTALES	Combustión	Edificios	-	21.01	21.01	21.01
		Combustión externa	39.4	49.66	49.66	49.66
		Combustión interna	0	0	0	0
	Procesos	Ind, metalúrgica secundaria	0.38	0	0	0
		Ind, de productos minerales	77.73	78.03	78.03	78.03
		Industria química	0	6.3	6.3	6.3
		Ind, madera y el papel	41.23	41.23	41.23	41.23
		Ind, aliment, y agropecuaria	58.21	56.38	56.38	56.38
Evaporativas	Evaporativas puntuales	6.3	6.3	6.3	6.3	
SUB-TOTAL PUNTALES			223.25	258.91	258.91	258.91
AREALES	Residencial	Comb, ext, residencial	0.54	0.54	0.54	0.54
		Comb.residencial de leña	2281.48	3238.29	3238.29	3238.29
		Evaporativas residencial	0	0	0	0
	Comerciales	Evaporativas Comerciales	0	0	0	0
		Rest,s y comida rápida	NE	NE	NE	NE
	Otras	Disposición de residuos	0	0	0	0
		Incendios Forestales	51.11	82.69	30.94	30.94
		Quemas Agrícolas (legales)	110.06	98.49	130.01	52.97
		Cigarrillos	4.63	4.63	4.63	4.63
		Emisiones biogénicas	0	0	0	0
Actividades agrícolas	0	0	0	0		
No clasificados	NE	NE	NE	NE		
SUB-TOTAL AREALES			2447.82	3424.64	3404.41	3327.37
TOTAL FUENTES ESTACIONARIAS			2671.07	3683.55	3663.32	3586.28
FUENTES DE EMISIONES FUGITIVAS						
Construcción y Demolición			NE	NE	NE	NE
Polvo resuspendido			9340.2	9340.2	9340.2	9340.2
Preparación de terrenos agrícolas			0	0	0	0
TOTAL FUENTES DE EMISIONES FUGITIVAS			9340.2	9340.2	9340.2	9340.2
FUENTES MOVILES						
EN RUTA			70.62	54.12	54.12	54.12
FUERA DE RUTA			0	0	0	0
TOTAL EMISION FUENTES MOVILES			70.62	54.12	54.12	54.12
TOTAL INVENTARIO			12081.89	13077.87	13057.64	12980.6
TOTAL INVENTARIO (SIN EMISIONES FUGITIVAS)			2741.69	3737.67	3717.44	3640.4

1.- Considerando factores emisivos del CENMA (CARB) para incendios forestales y quemas agrícolas

2.- Considerando factores emisivos del AP42 para incendios forestales y quemas agrícolas

3.- Considerando factores emisivos de Texas para quemas agrícolas y del AP42 para incendios forestales



Para poder comparar el inventario de emisiones de Temuco y Padre Las Casas se escogió el inventario de Christchurch (Nueva Zelanda) [7] debido a que su población (338800 habitantes) es del orden del total de habitantes de Temuco y Padre Las Casas (301433 habitantes), y su principal fuente también es el uso de leña para calefacción residencial.

Este inventario contempla la emisión para PM10 y otros contaminantes (PM2.5, CO, CO2, NO2, SO2).

Las Principales fuentes de emisión consideradas en el inventario de Christchurch son:

- Vehículos motorizados
- Calefacción de hogar
- Actividades industriales y comerciales

En la Tabla V.23 se muestra el resumen del inventario de emisiones de Christchurch

**Tabla V.23 Resumen del inventario de emisiones de PM10 (ton/año)
Christchurch – Nueva Zelanda**

Tipo de Fuente	Emisión PM10	Total (%)
Residencial	3489.4	83.5%
Industrial	346.75	8.3%
Fuentes móviles	343.10	8.2%
Total	4179.25	100.0

Del inventario de Christchurch se desprende que el total de emisiones antropogénicas es del orden de magnitud de las estimadas para Temuco y Padre Las Casas (4179 v/s 3726 ton/año). Además, la Calefacción del hogar es responsable del 83.5% de las emisiones de PM10, mientras que el aporte de las actividades Industriales y comerciales es de un 8.3% al igual que los vehículos motorizados.

La Tabla V.24 muestra la comparación de la responsabilidad de las emisiones de MP entre el inventario de Christchurch y el de Temuco y Padre las Casas por tipo de fuente.

**Tabla V.24 Responsabilidad (%) de emisiones de PM10
por inventario y tipo de fuente**

Tipo de Fuente	Responsabilidad de emisiones de MP %	
	Christchurch – 2002	Temuco y PLC - 2004
Industrial	8.3	7.3
Residencial	83.5	91.2
Fuentes móviles	8.2	1.5



VI EVALUACION DE LA MODELACION METEOROLÓGICA

Una etapa previa a la modelación de la dispersión de contaminantes en el aire es la simulación de la meteorología 3D en el área de estudio. La comparación de los campos meteorológicos modelados con las condiciones observadas (medidas) en el dominio de modelación implica un análisis gráfico y estadístico a fin de evaluar el ajuste de la simulación. Los resultados de esta comparación permiten orientar el análisis de modelación posterior (PM10) y evaluar si el modelo meteorológico es capaz de replicar adecuadamente las características del período episódico.

6.1 Temperatura y Velocidad del viento

Dado que las variables meteorológicas medidas en las Estaciones de Las Encinas y Padre Las Casas corresponden a temperatura y vientos, han sido estas dos observaciones las que se comparan con las estimadas por la modelación meteorológica.

La evaluación se realizó a través de gráficos de series temporales y de estadígrafos de bondad de ajuste para los períodos de episodio seleccionados para el año 2003 y 2004. Cabe notar que la simulación comienza un día antes, a fin de reducir los errores por condiciones de borde.

Los estadígrafos que miden la adecuación de una serie modelada a una serie medida, son funciones de los residuos entre valores predichos y observados. Típicamente en modelación meteorológica y de calidad del aire, se utiliza el error medio (MBE), el error medio absoluto (MAE), la raíz del error medio cuadrático (RMSE), y el índice de ajuste (d). Todos los estadígrafos indican un buen ajuste a medida que el valor se aproxima a cero, excepto el índice de ajuste, para el cual el valor 1 indica un acuerdo perfecto entre la serie predicha y la observada.

Las Figuras 6.1 y 6.2 muestran el ajuste gráfico entre la Temperatura ambiental modelada, y los valores registrados en la estación Padre Las Casas y Las Encinas, respectivamente, para el Episodio del año 2003. De ellas se observa que la modelación de la temperatura logra simular adecuadamente los ciclos horarios para el período en estudio.

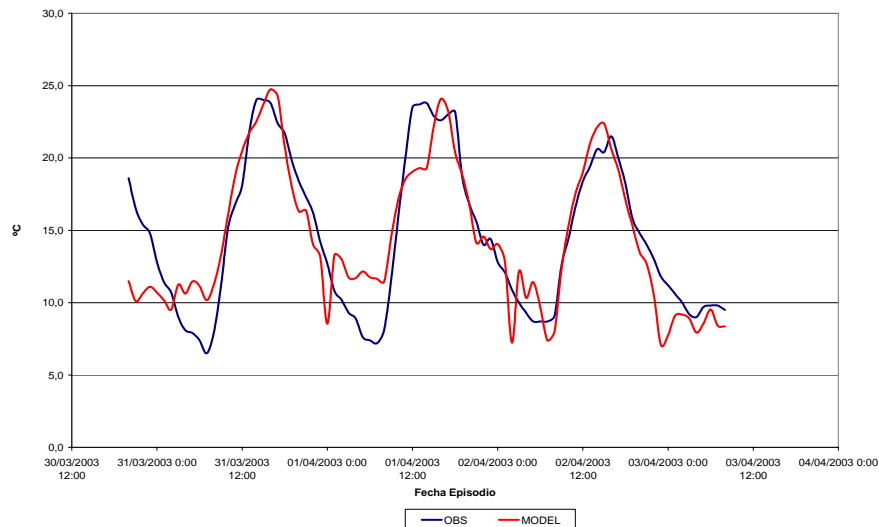
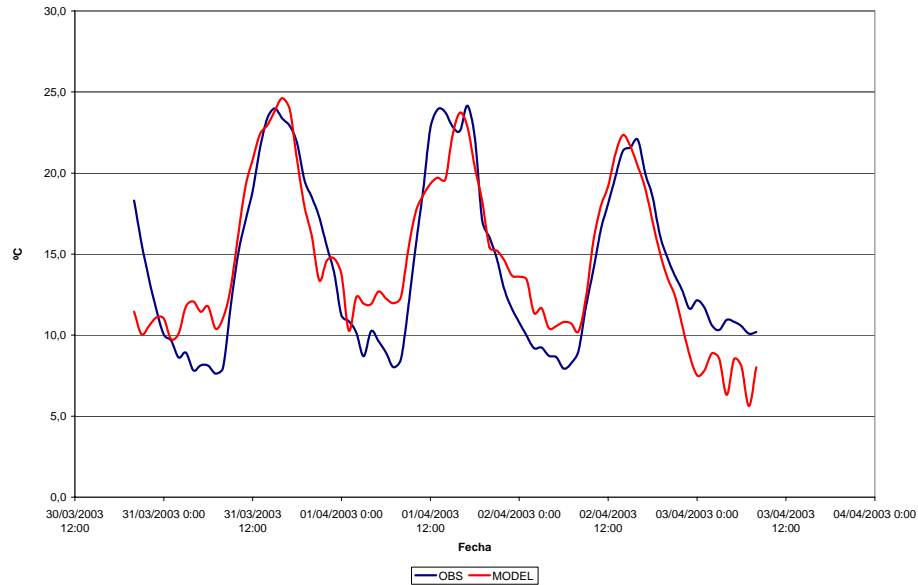
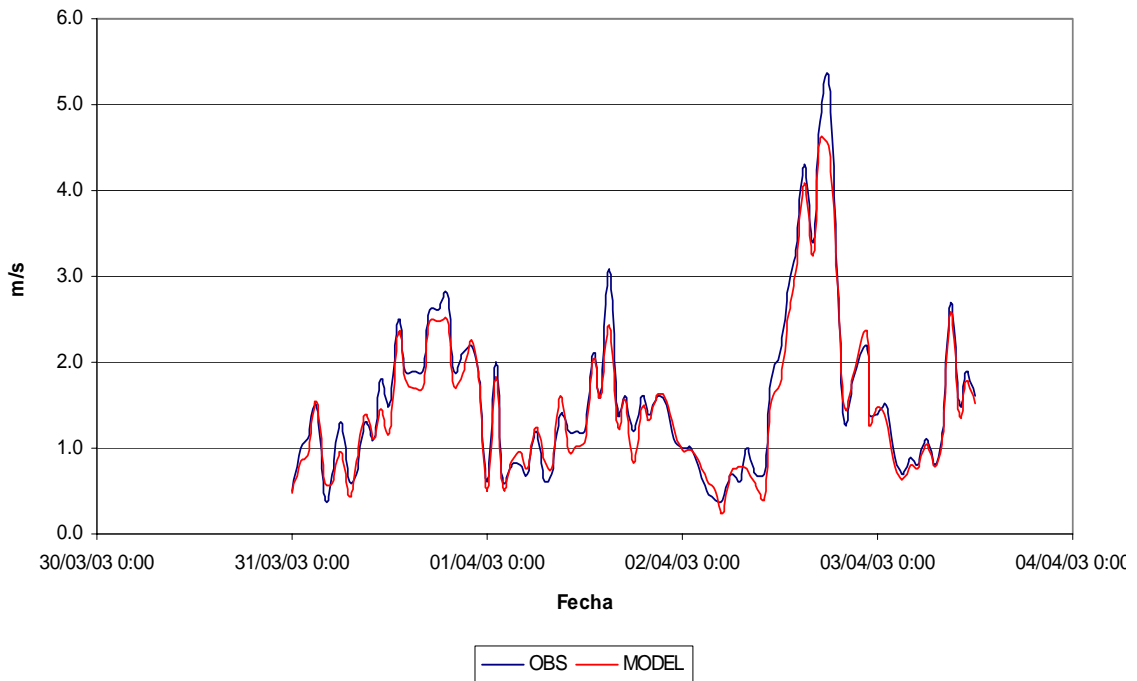


Figura 6.1 Temperatura Observada v/s Predicha MM5 Padre las Casas –Episodio 2003



**Figura 6.2 Temperatura Observada v/s Predicha MM5
Las Encinas – Episodio 2003**

Las Figuras 6.3 y 6.4 muestran el ajuste gráfico entre la Velocidad del viento modelado, y los valores registrados en la estación Padre Las Casas y Las Encinas, respectivamente, para el Episodio del año 2003. De ellas se observa un buen acuerdo entre la velocidad del viento predicha y la observada, aún cuando la modelación en Padre Las Casas no logra replicar exactamente los máximos diarios, sin embargo, en la estación Las Encinas, el ajuste de los máximos diarios es mejor.



**Figura 6.3 Velocidad del viento Observada v/s Predicha MM5
Padre las Casas – Episodio 2003**

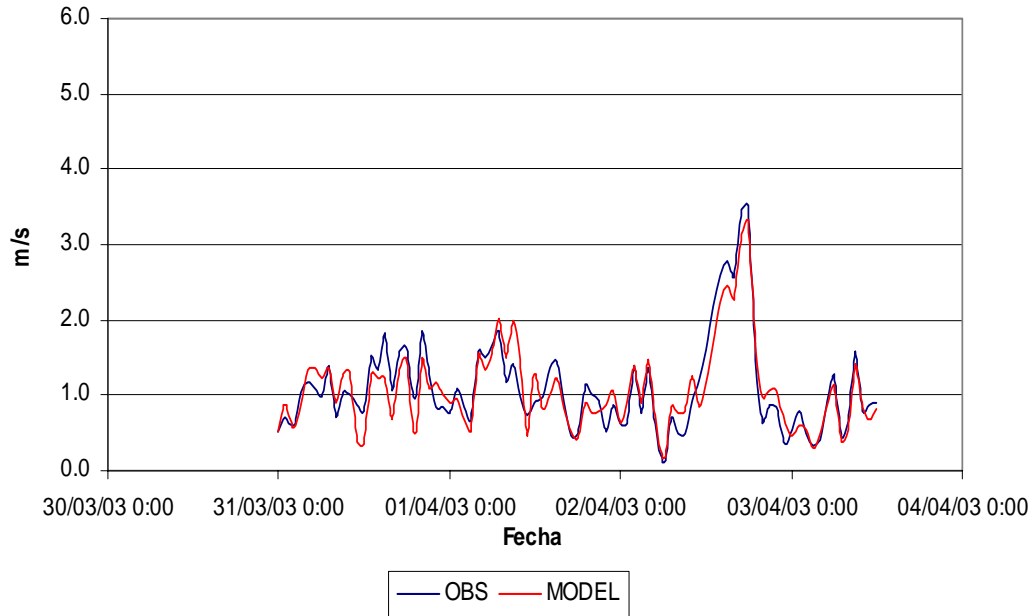


Figura 6.4 Velocidad del viento Observada v/s Predicha MM5 Estación las Encinas – Episodio 2003

Las Figuras 6.5 y 6.6 muestran el ajuste gráfico entre la Temperatura ambiental modelada, y los valores registrados en la estación Padre Las Casas y Las Encinas, respectivamente, para el Episodio del año 2004. De ellas se observa que la modelación de la temperatura logra simular los ciclos horarios para el período en estudio.

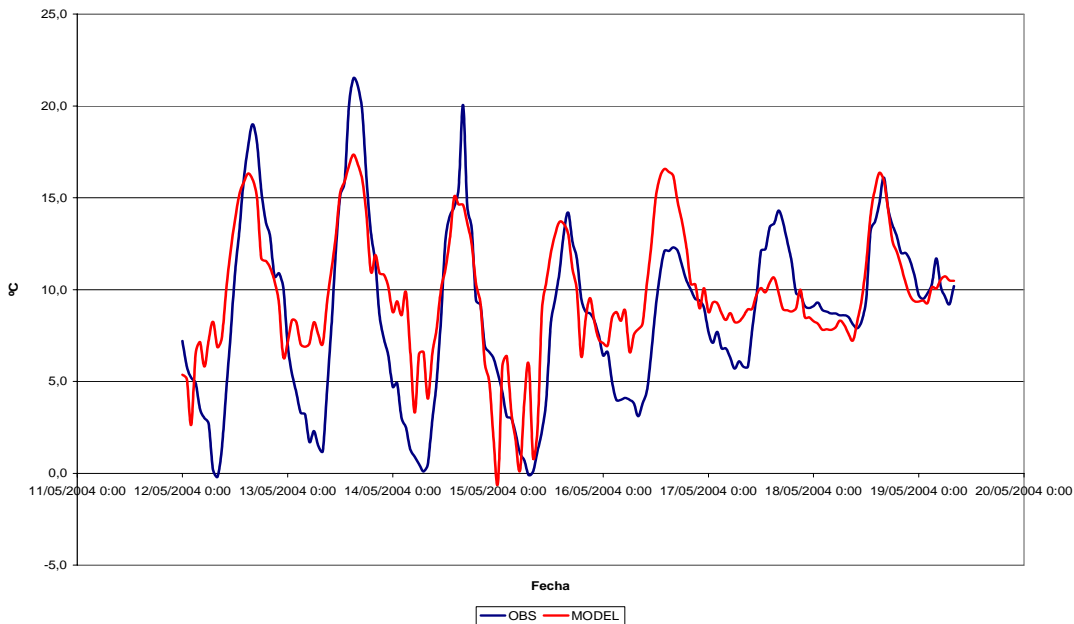


Figura 6.5 Temperatura Observada v/s Predicha MM5 Padre Las Casas – Episodio 2004

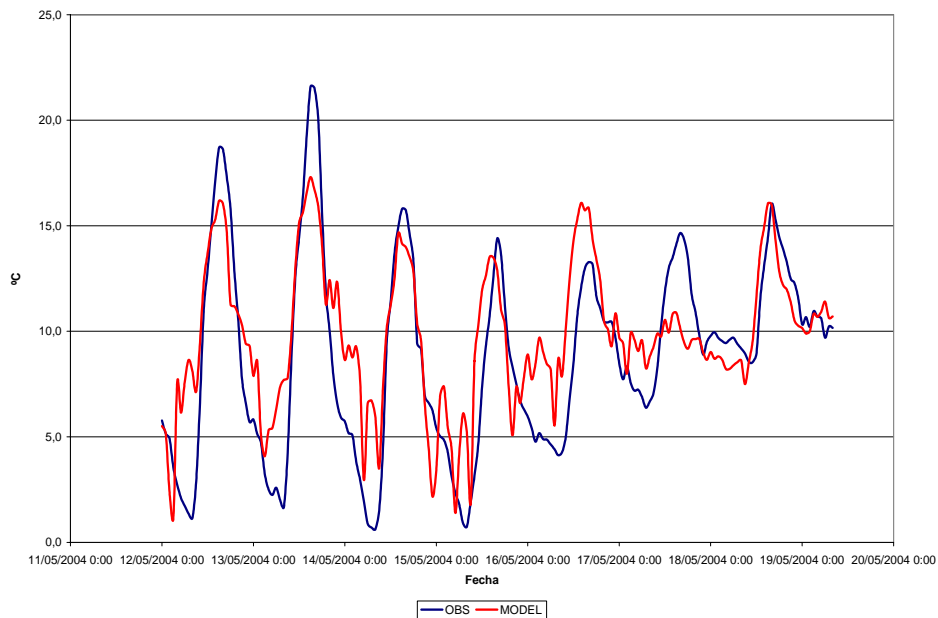


Figura 6.6 Temperatura Observada v/s Predicha MM5 Estación las Encinas – Episodio 2004

Las Figuras 6.7 y 6.8 muestran el ajuste gráfico entre la Velocidad del viento modelado, y los valores registrados en la estación Padre Las Casas y Las Encinas, respectivamente, para el Episodio del año 2004. De ellas se observa un buen ajuste entre la velocidad del viento predicha y la observada.

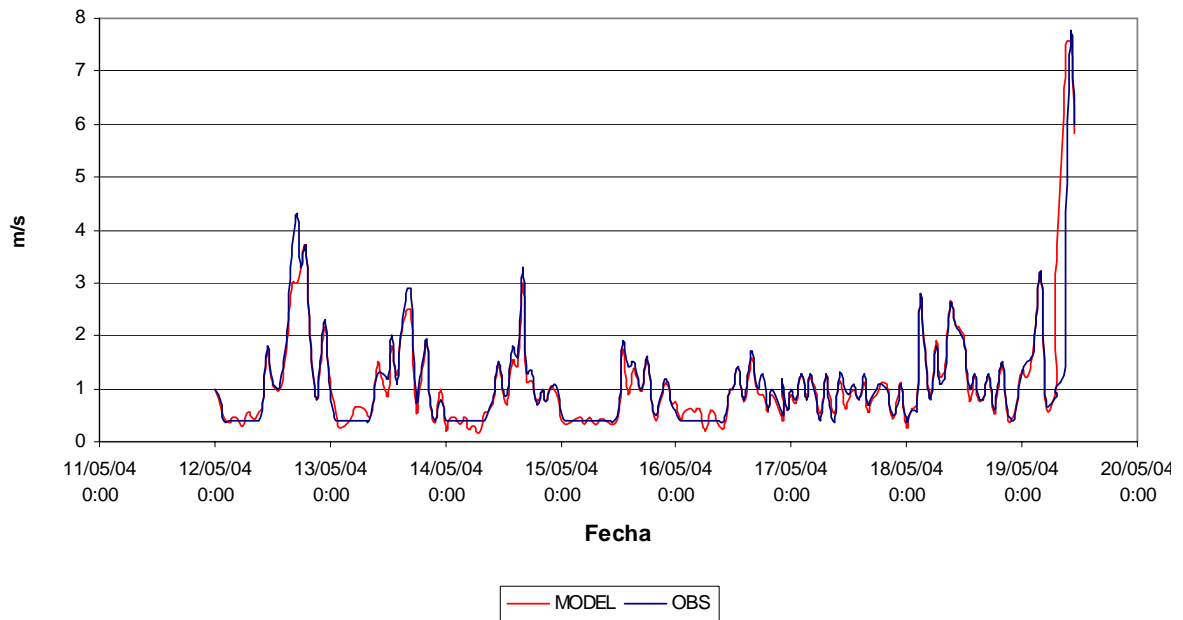
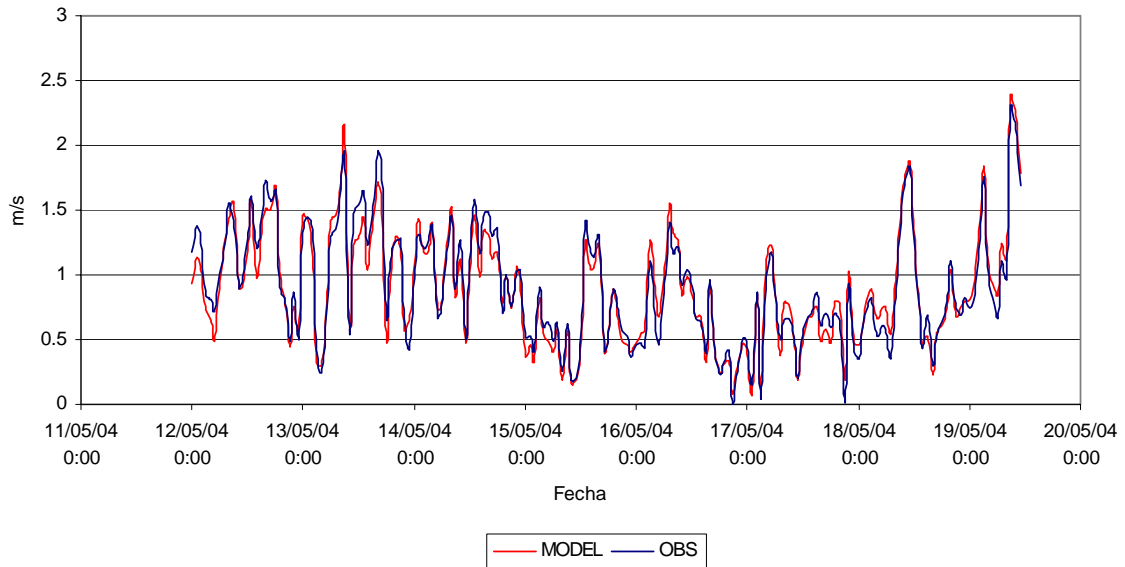


Figura 6.7 Velocidad del viento Observada v/s Predicha MM5 Padre Las Casas – Episodio 2004



**Figura 6.8 Velocidad del viento Observada v/s Predicha MM5
Las Encinas – Episodio 2004**

La Tabla VI.1 entrega los estadígrafos de bondad de ajuste obtenidos para las simulaciones meteorológicas.

Tabla VI.1 Estadígrafos de bondad de ajuste

Estadígrafo	EPISODIO 2003				EPISODIO 2004			
	TEMPERATURA		VIENTO		TEMPERATURA		VIENTO	
	PLC	LET	PLC	LET	PLC	LET	PLC	LET
MBE	-0.15	0.18	-0.09	-0.02	1.06	0.95	-0.03	-0.01
MAE	2.03	2.13	0.15	0.22	2.48	2.30	0.11	0.09
RMSE	2.51	2.52	0.04	0.07	3.13	2.87	0.13	0.11
d	0.77	0.75	0.89	0.75	0.62	0.64	0.9	0.87
MEDIA Obs	14.5	14.3	1.6	1.1	8.6	8.9	1.0	0.9
MEDIA Model	14.4	14.5	1.5	1.2	9.7	9.8	1.0	0.9

De la Tabla VI.1 se desprende que existe un buen ajuste para ambas variables modeladas, siendo levemente mejor predicha la variable velocidad del viento.



6.2 Altura de mezcla y Concentración de PM10

Al comparar la altura de mezcla (PBL) con las concentraciones del episodio 2004, se observa que existe una relación inversa entre estas variables (ver Figura 6.9). Las altas concentraciones de PM10 se observan a partir de las 17:00 a 18:00 horas, manteniéndose altas hasta las 3:00 AM del día siguiente. Durante este período, la altura de mezcla se encuentra baja producto de la inversión térmica radiativa. Las emisiones residenciales cesan alrededor de las 23:00 horas, sin embargo las concentraciones siguen elevadas debido al poco desarrollo de la capa de mezcla.

El inventario de emisiones demuestra que la principal fuente de emisión de materia particulada es la combustión residencial de leña, la cual posee un ciclo diario de emisión característico (7.4.1), en que existe un aumento a partir de aproximadamente las 17:00 horas debido a la baja de temperatura en los días fríos.

Igual situación se observa en la Figura 6.10 con información en Padre Las Casas.

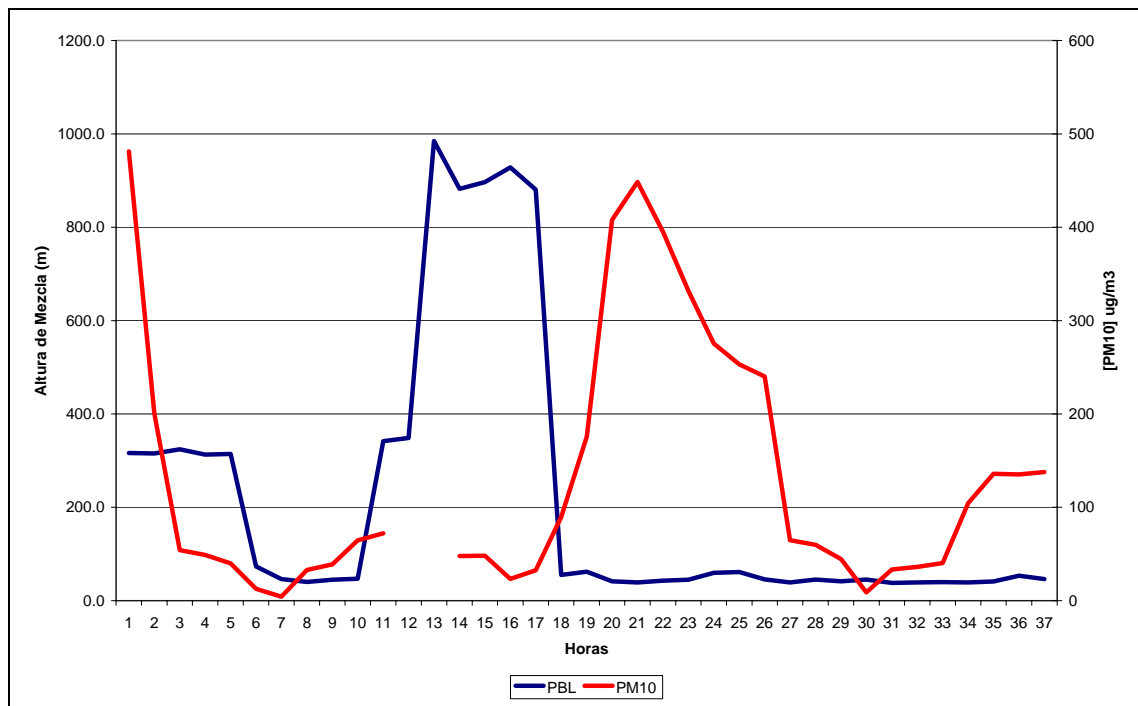


Figura 6.9 Concentración PM10 v/s PBL estación Las Encinas – 13 a 14 de Mayo 2004

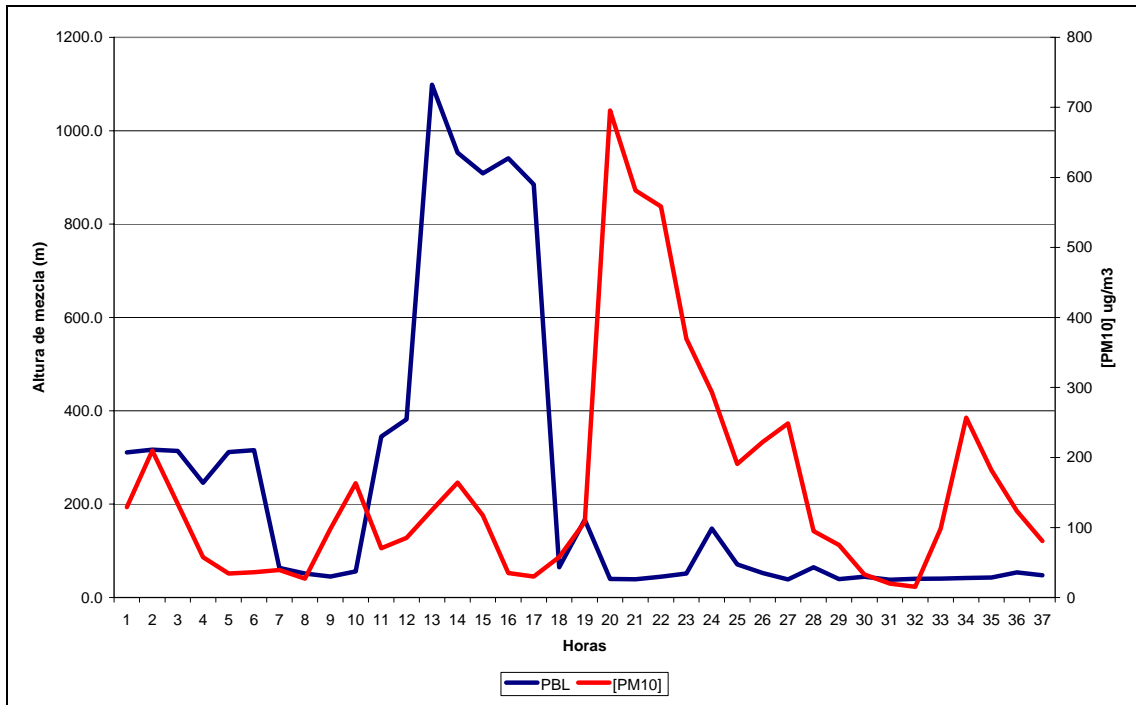


Figura 6.10 Concentración PM10 v/s PBL estación Padre las casas 13 a 14 Mayo 2004



VII PREPARACION BASES DE MODELACION

Para el proceso de modelación, es necesario contar con una gran base de datos que permitan caracterizar la zona de estudio. Este tipo de información, va desde las condiciones meteorológicas y geomorfológicas del área de estudio, hasta las tasas de emisión de material particulado de las distintas fuentes que fueron evaluadas.

Para la obtención de esta base, se trabajó con modelos de meteorología, de emisiones, preparación de un inventario de emisiones, e información sobre el terreno, uso de suelo y características de la atmósfera en estudio. Adicionalmente a las fuentes de información accedidas, se logró establecer patrones de comportamiento temporal y espacial de dichas fuentes. La creación de estas bases y sus características principales se presentan a continuación.

7.1 Bases de uso de suelo

El uso de suelo se utiliza para definir los índices de albedo y rugosidad superficial del área de modelación. Esta información, se obtiene a través del modelo meteorológico MM5 para el caso del modelo CALPUFF y por el manejo de un Sistema de Información Geográfico, que permita calcular el porcentaje de cada tipo de uso de suelo, para cada celda del dominio horizontal del modelo fotoquímico CAMx.

Del modelo MM5 se extraen 24 categorías de uso de suelo para el modelo CALPUFF, en cambio, para el modelo fotoquímico de dispersión de contaminantes CAMx, es necesario agrupar los distintos tipos de uso de suelo en once categorías, las que se presentan en la Tabla VII.1.

Tabla VII.1 Categorías de uso de suelo reconocidas por el modelo CAMx.

Tipo de Uso de Suelo	Código de Uso de suelo CAMx	Rugosidad Superficial (metros)	Albedo UV
Urbano	1	3.00	0.08
Agrícola	2	0.25	0.05
Pradera	3	0.05	0.05
Bosque Caduco	4	1.00	0.05
Bosque Conífero	5	1.00	0.05
Bosque Mixto	6	1.00	0.05
Agua	7	0.0001	0.04
Zona Árida	8	0.002	0.08
Humedal	9	0.15	0.05
Agrícola-Pradera	10	0.10	0.05
Afloramiento Rocoso	11	0.10	0.05

Fuente: User's Guide Camx, Agosto 2004.

Para la determinación de los distintos tipos de uso de suelo, para el área de modelación, se utilizó la información obtenida a través del Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) del año 2003. En ella, se presenta una categorización de 51 tipos de suelo las que fueron resumidas en los once requeridos por el modelo CAMx y se presenta en la Figura 7.1.

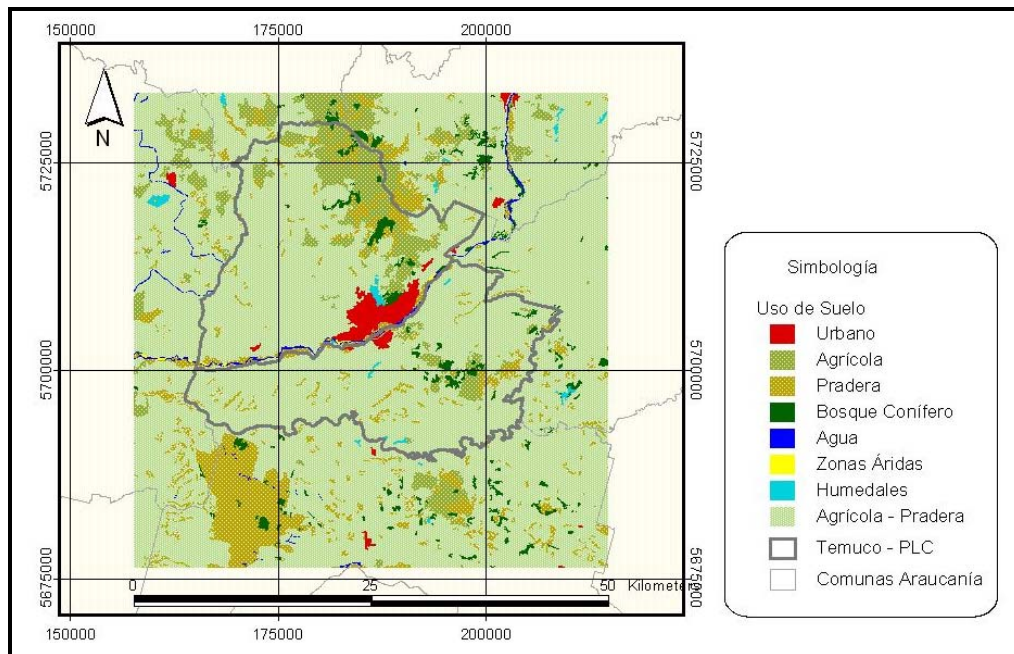


Figura 7.1 Usos de suelo sobre el área de estudio.

El uso de suelo definido como rotación Agrícola-Pradera, ocupa un 79% del total de la superficie del área de estudio. Los porcentajes para las demás categorías se presentan en la Tabla VII.2.

Tabla VII.2 Distribución de uso de suelo en el área de estudio.

Tipo de Uso de Suelo	% de la superficie total
Urbano	1.4
Agrícola	8.0
Pradera	8.7
Bosque Caduco	0.0
Bosque Conífero	2.1
Bosque Mixto	0.0
Agua	0.6
Zona Árida	0.0
Humedal	0.4
Agrícola-Pradera	78.9
Afloramiento Rocoso	0.0
Total	100



7.2 Bases Topográficas

En los modelos de dispersión de contaminantes, la información sobre las características de superficie del espacio geográfico en estudio y sus coordenadas, son vitales para la consistencia de la aplicación de parámetros que dependen de la latitud, como por ejemplo, el cálculo del ángulo cenit o del tipo de cobertura del suelo en el cálculo del albedo superficial. De esta forma el proceso de modelación requiere de un archivo que contenga las alturas de terreno del dominio y las coordenadas de cada centro de celda.

Esta información se extrae desde los resultados de la aplicación del modelo meteorológico MM5, que entrega la altura de cada celda del dominio expresada en metros sobre el nivel medio del mar. En la Figura 7.2 se presenta el modelo digital de terreno que interpretan los modelos de dispersión a través del archivo de terreno.

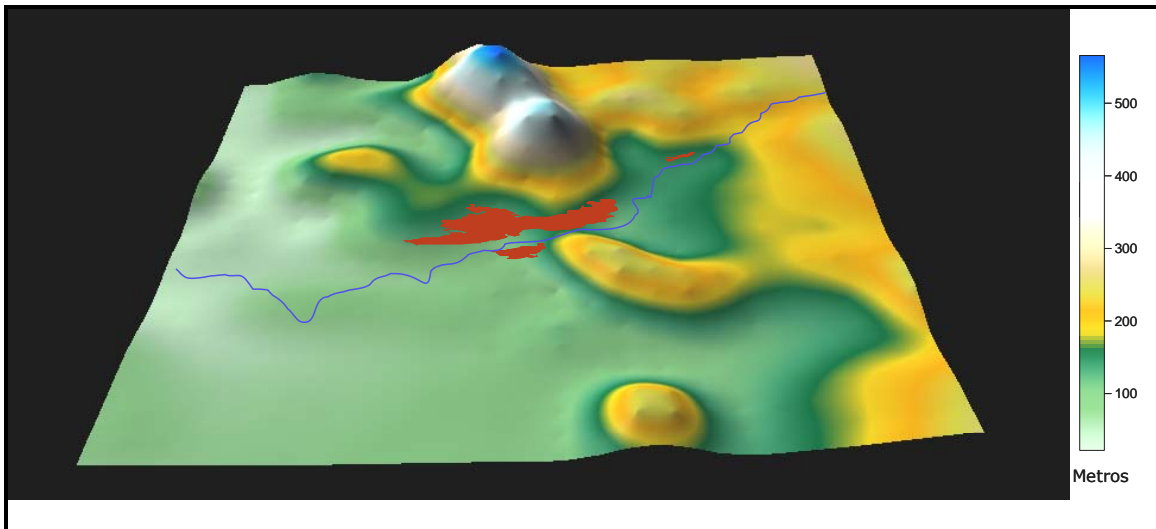


Figura 7.2 Modelo digital de terreno de la zona de estudio.



7.3 Campos Meteorológicos

Los campos meteorológicos que requieren los modelos de dispersión de contaminantes CALPUFF y CAMx, se obtienen a través del modelo meteorológico de mesoescala MM5. La información generada corresponde a los campos tridimensionales de viento, temperatura, presión, vapor de agua, difusión vertical, cobertura nubosa y tasas de precipitación. Estos datos fueron obtenidos para cada hora del período episódico y para cada celda del dominio, lo que significa una gran cantidad de datos e información de entrada para los modelos.

El programa CALMET procesa las salidas del modelo MM5 para generar el archivo meteorológico requerido por el modelo CALPUFF.

Para el modelo CAMx, existe también un programa que extrae la información de salida del modelo MM5. Su función principal es filtrar sólo aquellas variables necesarias para el proceso de modelación, calcular la difusión vertical y estructurarlas con el formato necesario. Además, tiene la potencialidad de interpolar datos en el caso que el dominio de salida del modelo MM5 no sea compatible con el dominio del modelo CAMx o para obtener datos para algún subdominio. Los parámetros necesarios para este procedimiento son: el archivo de salida del modelo MM5, definición del dominio (origen, dominio horizontal y dominio vertical) y sistema de proyección de coordenadas.

7.4 Emisión de contaminantes

Uno de los objetivos de este estudio es estimar la concentración de PM10 sobre las comunas de Temuco y Padre Las Casas. Para ello, se ha realizado una actualización y un mejoramiento del inventario de emisiones de material particulado el que fue utilizado para la creación de los archivos de entrada para el modelo CALPUFF que estimará las concentraciones de PM10 primario. Además, se utilizará el modelo CAMx para estimar las concentraciones de material particulado de origen secundario, para lo cual se requiere información de otras especies contaminantes como óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de azufre (SOx), amoníaco (NH₃) y óxidos de carbono (CO y CO₂) principalmente. En la preparación de los archivos de emisión para la modelación, se consideraron aquellas especies que fueron estimadas en el inventario de Temuco y Padre Las Casas del año 2000 [4]. La distribución espacial y temporal de estas especies, se realizó de acuerdo a los perfiles temporales y patrones espaciales de las fuentes emisoras utilizados para el material particulado.

Para la creación de los archivos de emisiones, se definieron tres tipos principales de fuentes emisoras: areales, puntuales y móviles. En la primera categoría se consideraron las emisiones producto de la combustión residencial, las quemas agrícolas, y los incendios forestales principalmente. En la segunda categoría de fuentes puntuales, se consideraron los principales procesos industriales y la emisión de los edificios. Finalmente, las fuentes móviles están conformadas por las distintas categorías de vehículos responsables de la emisión en ruta.



7.4.1 Fuentes areales

- **Combustión residencial**

En Temuco y Padre Las Casas la emisión total de material particulado por concepto de combustión residencial es de 3238.29 ton/año para el año 2004. La distribución espacial está asociada a las zonas censales, las que suman 50 áreas sobre estas comunas.

El perfil temporal de las emisiones residenciales se obtuvo de la encuesta de uso de leña en Temuco y Padre las Casas [1]. De ella fue posible obtener el perfil de consumo de leña por tipo de artefacto y estación del año (ver Tabla VII.3), así como el perfil diario de encendido de los artefactos (ver Tabla VII.4).

Tabla VII.3 Perfil anual de consumo de leña por equipos.

Tipo de Artefacto	Porcentaje de consumo de leña (%)			
	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Cocina	20	69	9	2
Salamandra	13	84	3	0
Estufa cámara simple	20	71	8	0
Estufa cámara doble	14	81	4	0
Chimenea	12	78	10	0
Total Periodo	18	74	7	1

Fuente [1].

Tabla VII.4 Perfiles diario de encendido de equipos.

Hora	Porcentaje de equipos encendidos (%)				
	Cocina	Salamandra	Estufa cámara simple	Estufa cámara doble	Chimenea
1	0	2	0	5	0
2	0	2	0	5	0
3	0	2	0	5	0
4	0	2	0	5	0
5	0	2	0	5	0
6	0	2	0	5	0
7	0	2	0	5	0
8	73	57	63	44	25
9	73	57	63	44	25
10	73	57	63	44	25
11	73	57	63	44	25
12	65	41	45	38	25
13	65	41	45	38	25
14	65	41	45	38	25
15	65	41	45	38	25
16	63	52	82	66	83
17	63	52	82	66	83
18	63	52	82	66	83
19	63	52	82	66	83
20	75	73	86	78	58
21	75	73	86	78	58
22	75	73	86	78	58
23	75	73	86	78	58
24	75	73	86	78	58

Fuente [1].



La tasa de emisión por zona censal para cada periodo del día, para la estación de invierno se muestra en las Figuras 7.3 a la 7.7.

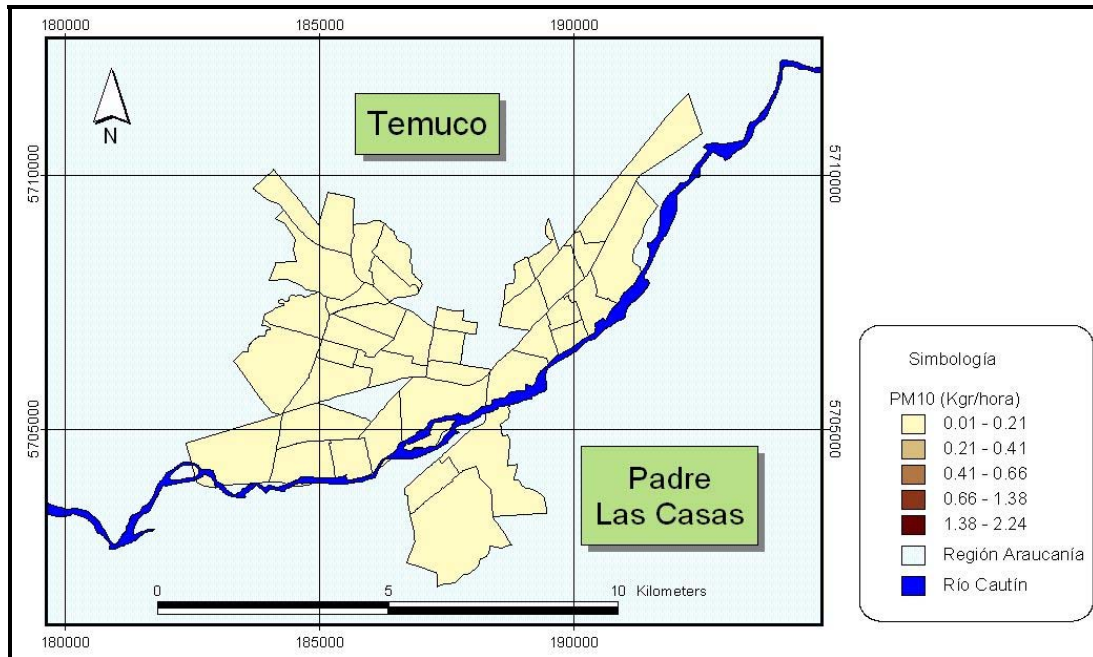


Figura 7.3 Emisión de PM10 debido a combustión residencial 00:00 a 7:00 horas.

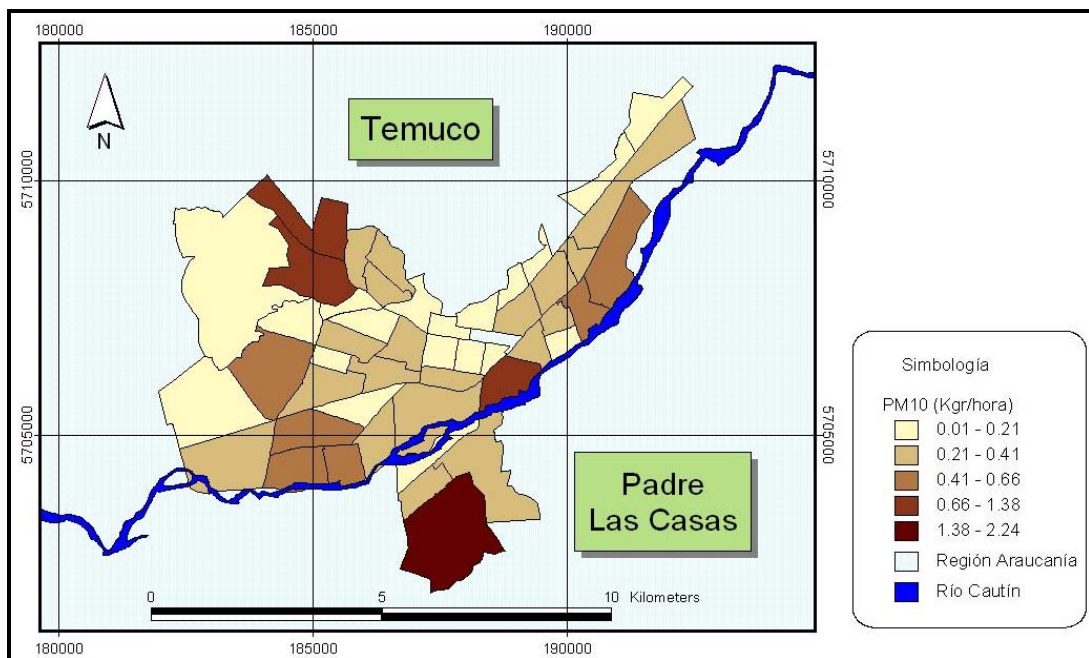


Figura 7.4 Emisión de PM10 debido a combustión residencial 7:00 a 10:00 horas.

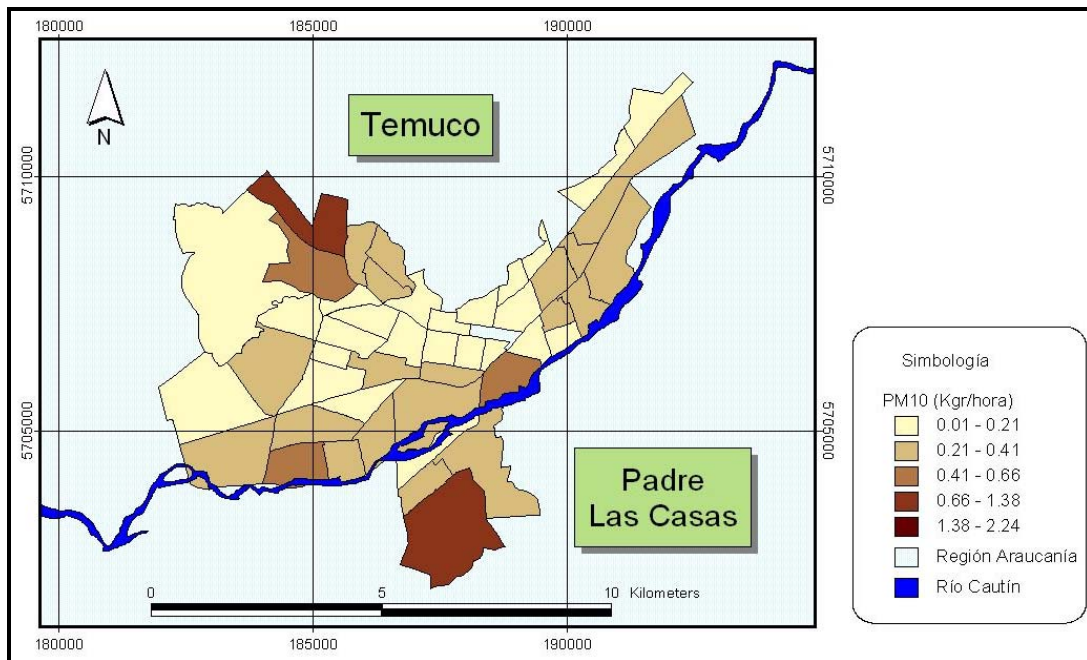


Figura 7.5 Emisión de PM10 debido a combustión residencial 10:00 a 14:00 horas.

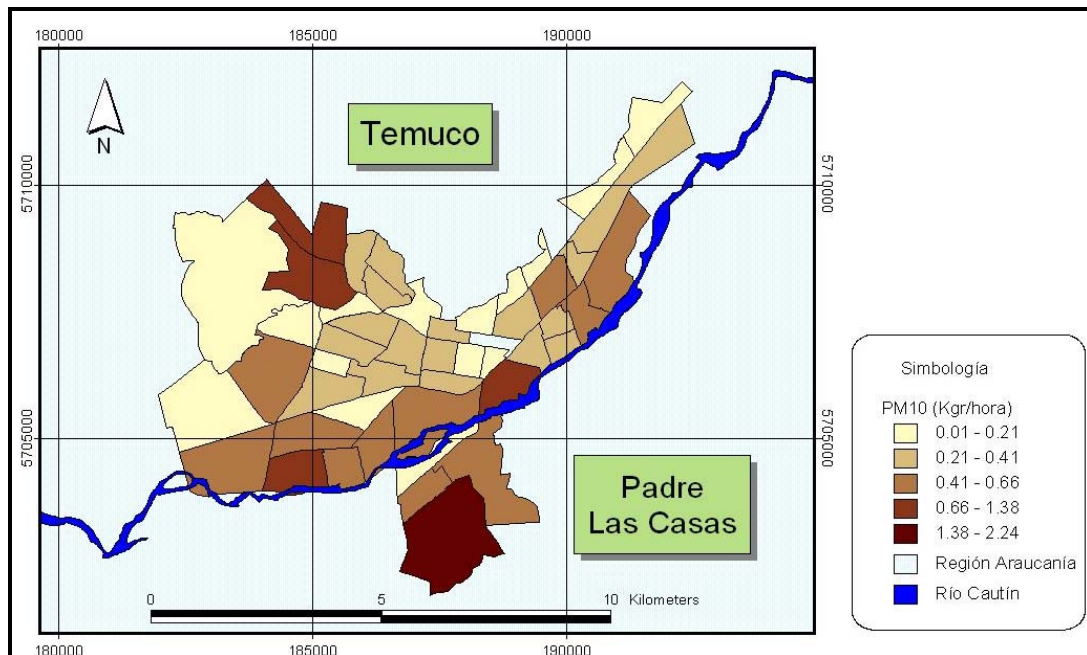


Figura 7.6 Emisión de PM10 debido a combustión residencial 14:00 a 18:00 horas.

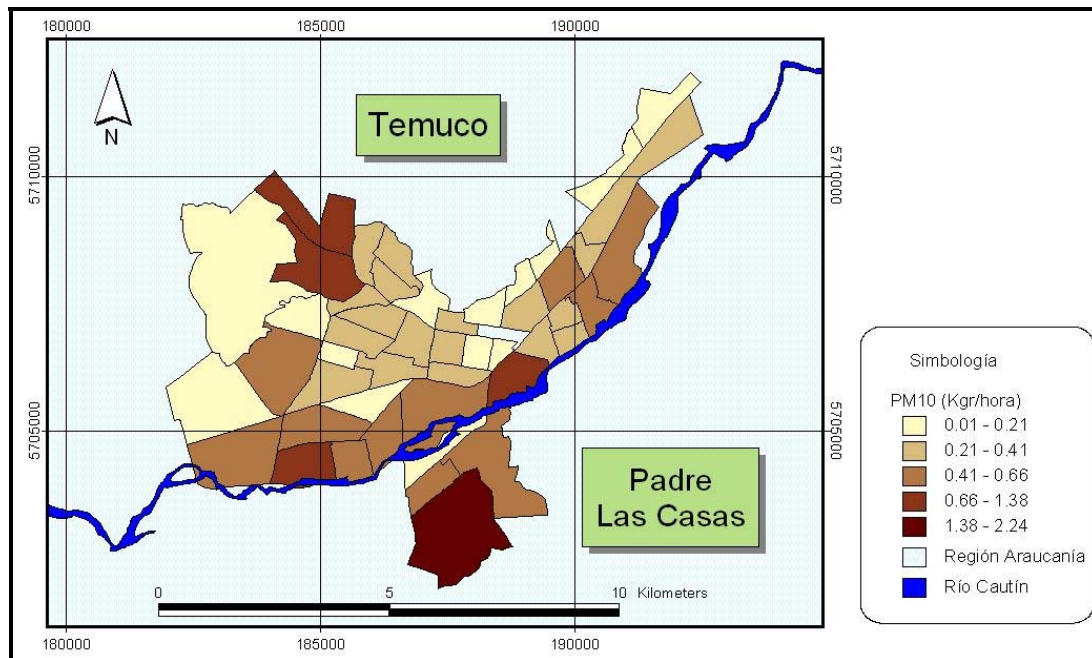


Figura 7.7 Emisión de PM10 debido a combustión residencial 18:00 a 00:00 horas.

- **Quemas agrícolas**

Para las quemas agrícolas se asume un perfil temporal de emisiones constante durante las 24 horas del día. El número de quemas agrícolas y la superficie afectada para cada día dentro del Episodio 1, así como el día previo a dicho episodio se muestra en la Tabla VII.5

Tabla VII.5: Numero de quemas ocurridas durante el Episodio 1 y superficie afectada. Año 2004.

Día	Nº de Quemas	Sup Consumida (ha)	Emisión (ton/día)
Miércoles 12/05/2004	9	14.39	0.68
Jueves 13/05/2004	9	14.39	0.68
Viernes 14/05/2004	9	14.39	0.68
Sábado 15/05/2004	9	14.39	0.68
Domingo 16/05/2004	6	11.80	0.56
Lunes 17/05/2004	6	11.80	0.56
Martes 18/05/2004	7	11.88	0.56
Total	55	93.04	4.40

La Figura 7.8 muestra la localización de quemas agrícolas entre los días 13 y 15 de mayo del año 2004.

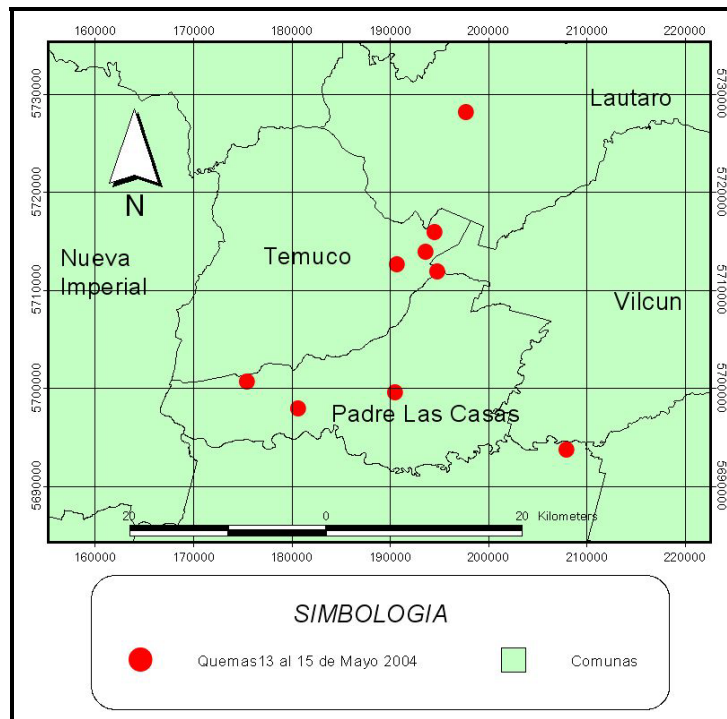


Figura 7.8 Localización de quemas agrícolas entre el 13 y el 15 de Mayo del 2004

La Figura 7.9 muestra la localización de quemas agrícolas entre los días 16 y 18 de mayo del año 2004.

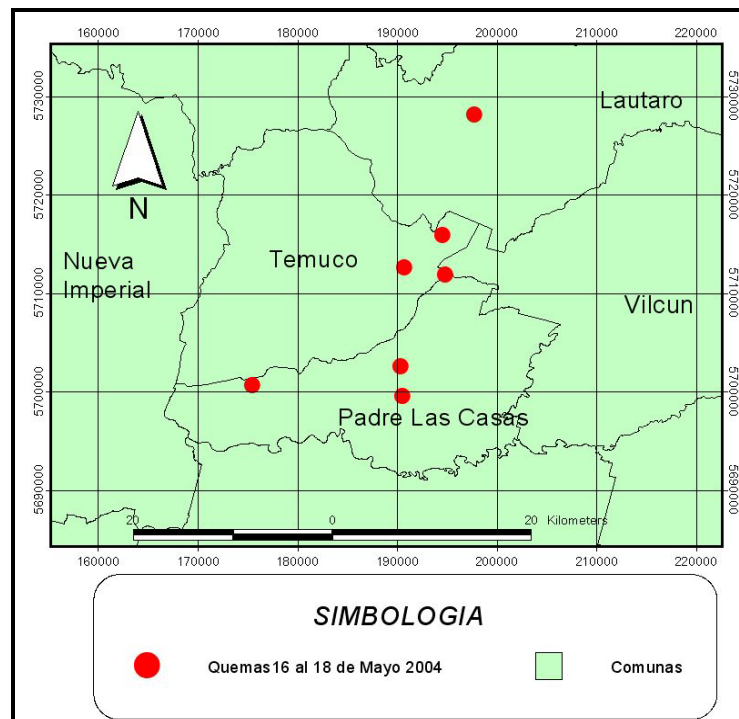


Figura 7.9 Localización de quemas agrícolas entre el 16 y 18 de Mayo del 2004



El número de quemas agrícolas y la superficie afectada para cada día dentro del periodo del Episodio 2, así como el día previo a dicho episodio se muestra en la Tabla VII.6

Tabla VII.6 Número de quemas ocurridas durante el Episodio 2 y superficie afectada. Año 2003

Día	Nº de Quemas	Sup Consumida (ha)	Emisión (ton/día)
Lunes 31/03/2003	172	1299.42	61.46
Martes 01/04/2003	57	214.23	10.13
Miércoles 02/04/2003	67	248.99	11.78
Total	296	1762.64	83.37

La localización de quemas por día durante el Episodio 2 se observa en las figuras 7.10 y 7.11

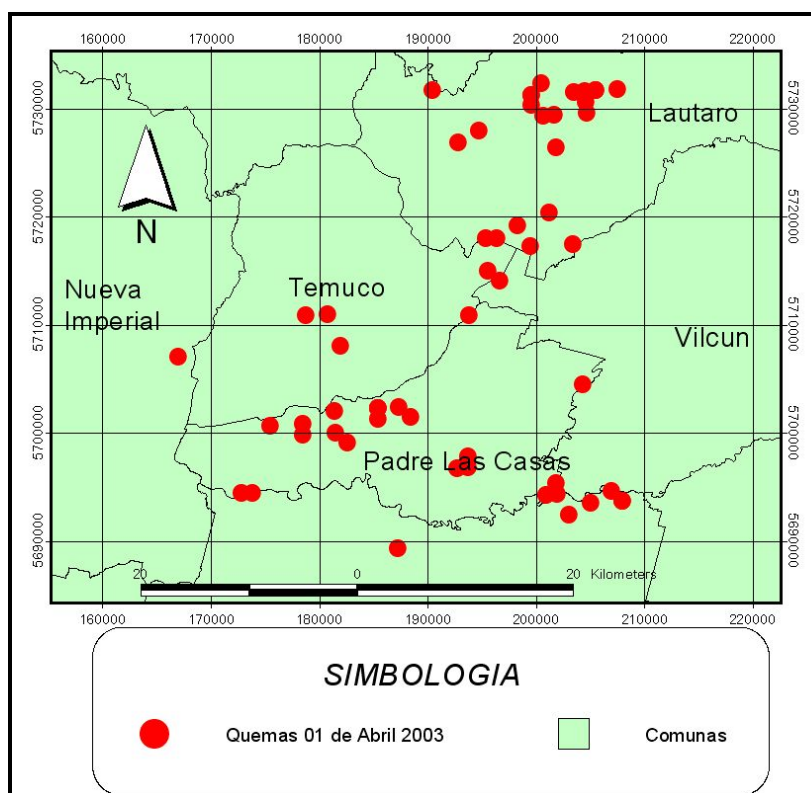


Figura 7.10 Localización de quemas durante el día 01 de Abril del 2003

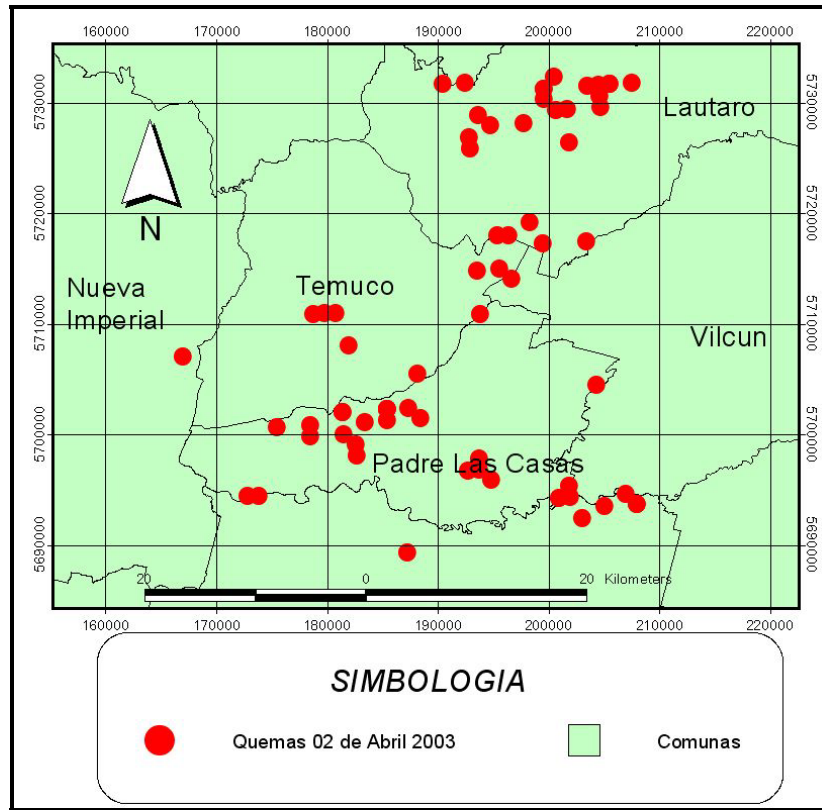


Figura 7.11 Localización de quemas durante el día 02 de Abril del 2003

- **Incendios forestales**

Al igual que las quemas agrícolas, la emisión diaria de PM10 debido a los incendios forestales se asume que se distribuye uniformemente durante las 24 horas del día.

Dado que la información registrada por CONAF entregó el total de hectáreas quemadas para un periodo determinado de días, fue necesario identificar en cuantos de estos periodos estaban contenidas las fechas correspondientes al Episodio, para así determinar el total de incendios forestales ocurridos durante el período de interés.

El número de incendios forestales, la superficie afectada, y la emisión de PM10 diaria, ocurrida durante el Episodio 1, se muestra en la Tabla VII.7.

Tabla VII.7 Incendios forestales durante el Episodio 1

Día	Número de Incendios	Superficie afectada (ha)	Emisión (ton/día)
Miércoles 12/05/2004	7	4.59	1.21
Jueves 13/05/2004	7	4.59	1.21
Viernes 14/05/2004	7	4.59	1.21
Sábado 15/05/2004	7	4.59	1.21
Domingo 16/05/2004	6	3.33	0.88
Lunes 17/05/2004	6	3.33	0.88
Martes 18/05/2004	6	3.33	0.88
Total	46	28.35	7.48



La localización de los incendios forestales para los días del Episodio 1 se puede visualizar en las figuras 7.12 y 7.13

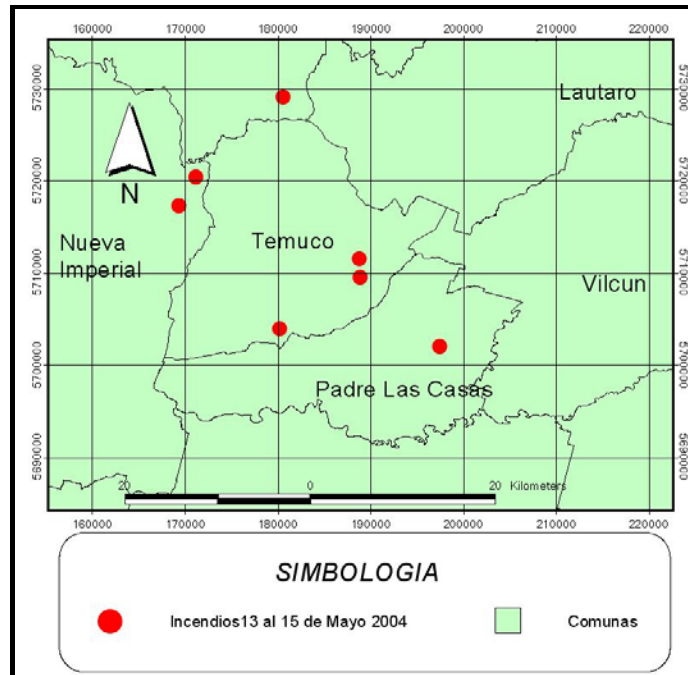


Figura 7.12 Localización de incendios forestales ocurridos entre el 13 y 15 de Mayo del 2004

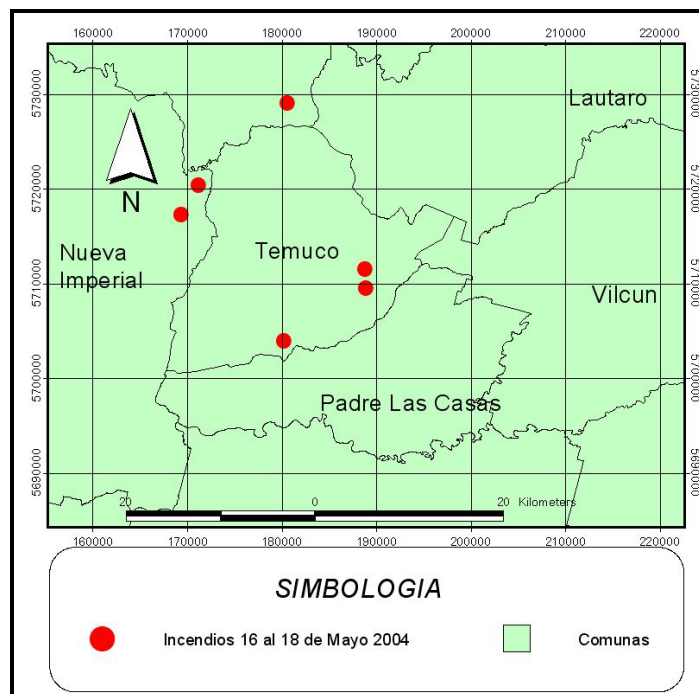


Figura 7.13 Localización de incendios forestales Ocurridos entre el 16 y 18 de Mayo de 2004.



La Tabla VII.8 muestra el número de incendios forestales, la superficie afectada, y la emisión diaria durante el Episodio 2.

Tabla VII.8 Incendios forestales durante el Episodio 2

Día	Nº de Incendios	Superficie afectada (ha)	Emisión (ton/día)
Lunes 31/03/2003	0	0.00	0
Martes 01/04/2003	2	2.81	0.74
Miércoles 02/04/2003	2	2.72	0.72
Total	4	5.53	1.46

La distribución espacial de los incendios forestales para el episodio del año 2003 se muestra en las figuras 7.14 y 7.15.

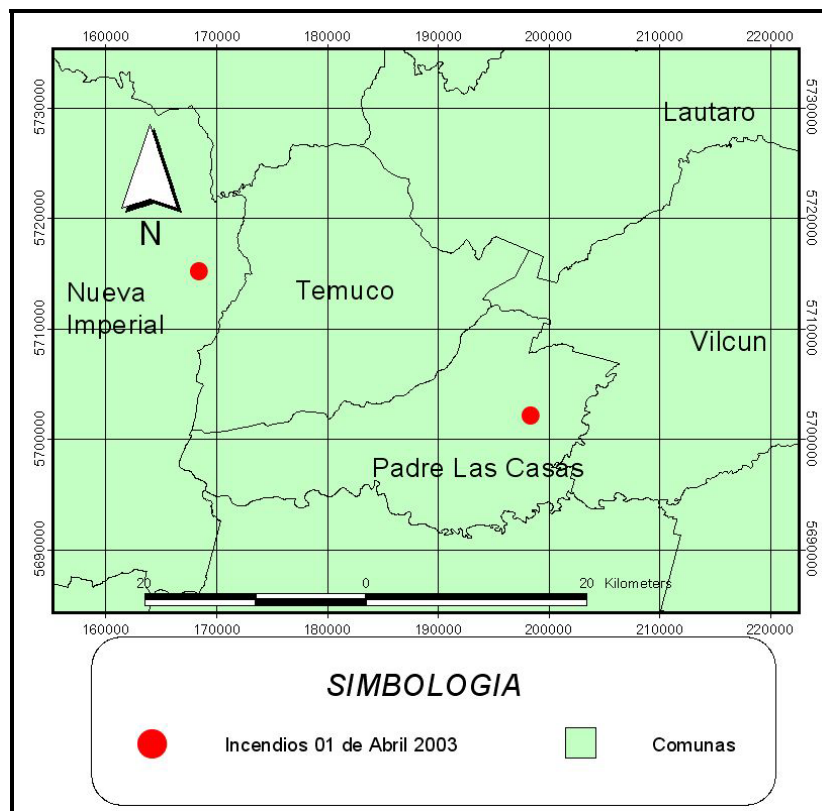


Figura 7.14 Localización de incendios forestales para el día 01 de Abril del 2003

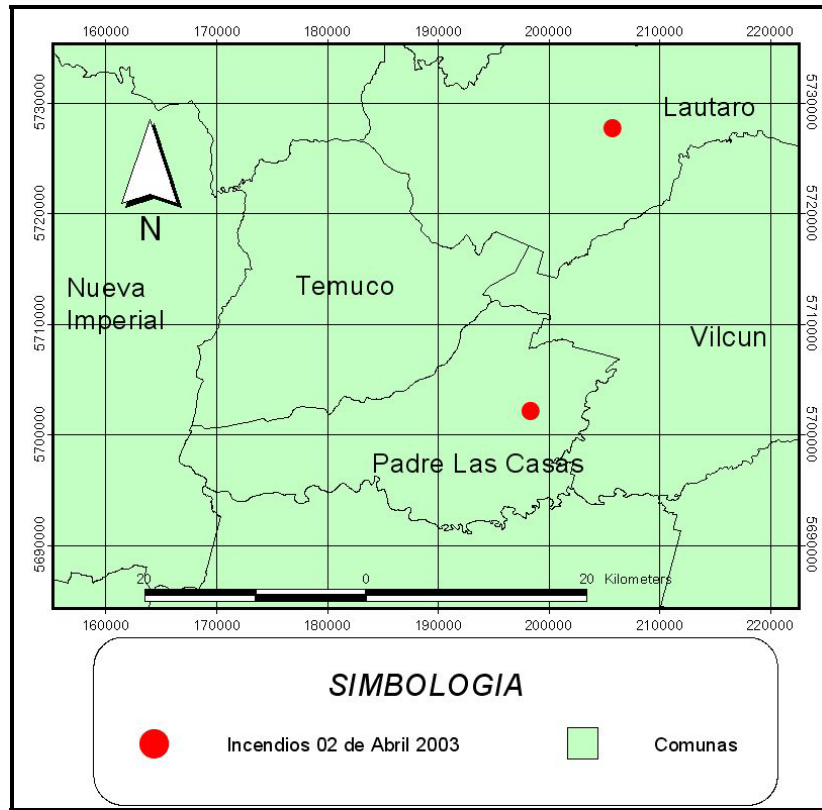


Figura 7.15 Localización de incendios forestales para el día 02 de Abril del 2003

7.4.2 Fuentes puntuales.

La inclusión de fuentes puntuales en la modelación de la calidad del aire requiere de parámetros adicionales a la emisión de las fuentes, tales como la localización, temperatura y velocidades de gases que salen de la chimenea. Lo anterior es válido para chimeneas industriales así como para los edificios que utilizan calderas para calefacción.

La base de fuentes puntuales considera además de la emisión, su georeferenciación, sin embargo, adolece de algunos parámetros de emisión necesarios para la modelación tales como la altura y diámetro de la chimenea, velocidad y temperatura del gas. Es por esta razón que se utilizó la información del inventario de la Región Metropolitana para completar los datos faltantes, al seleccionar procesos similares y ajustados por el tipo de combustible.

En relación a la distribución temporal de las emisiones esta se asume continua durante las 24 horas del día.



7.4.3 Fuentes móviles

En Temuco existe para el año 2004 un total de 40609 vehículos según datos recopilados en el último estudio desarrollado por Suroeste consultores dentro del marco del estudio "Investigación de instrumentos de planificación ambiental para ciudades intermedias, etapa II", en el cual se consolidó un inventario de emisiones de fuentes móviles para esta ciudad [5]. Este parque vehicular genera una emisión total anual de 54.2 toneladas de PM10 para el año 2004, el que se obtuvo a través del modelo MODEM, el que permitió estimar la emisión de PM10 y gases que se incluirán en la modelación de este estudio.

La emisión estimada para las comunas de Temuco y Padre Las Casas debe ser procesada para su inclusión en un modelo de dispersión. Básicamente, se requiere distribuir la emisión total anual en el tiempo y espacio en que ocurre el Episodio a modelar.

La caracterización de los flujos viales de la Ciudad de Temuco y Padre Las Casas permite realizar estas dos tareas. Para ello fue necesario complementar la base de datos de fuentes móviles con datos de conteo de flujos disponibles en SECTRA y referidos a la modelación de ciudades intermedias a través del modelo VIVALDI. La red vial de Temuco y Padre Las Casas entregada por SECTRA, está constituida por 1130 arcos.

Estos arcos, tienen asociado la distribución del flujo vehicular de la red vial representativa de Temuco y Padre Las Casas para la hora punta que es la de mayor tráfico vehicular. De este modo se estableció un perfil temporal de los flujos y, posteriormente, de las emisiones vehiculares. La Figura 7.16 muestra la distribución de los flujos durante los días de la semana.

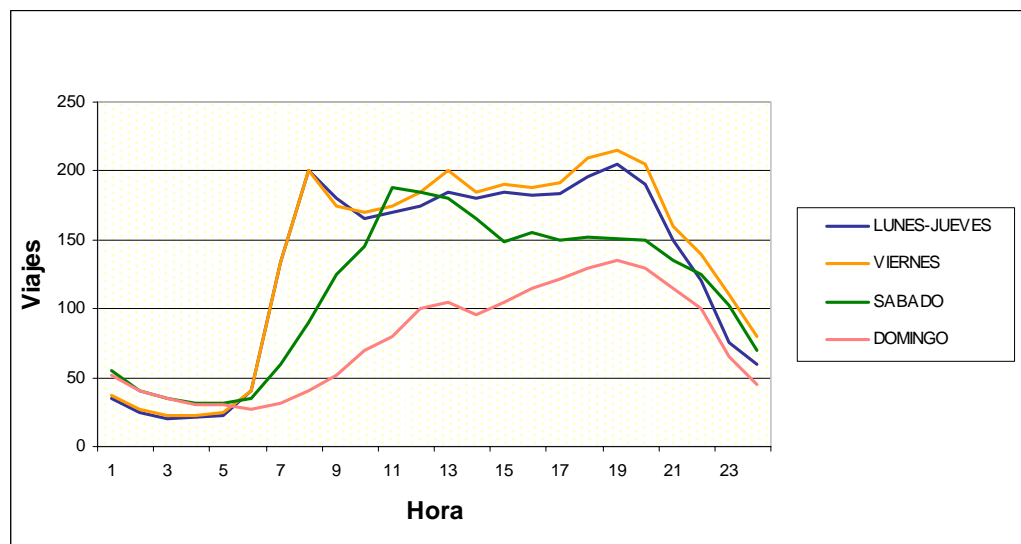


Figura 7.16 Perfil temporal diario del flujo vial en Temuco y Padre Las Casas.

El comportamiento de los flujos viales durante los días laborales en Temuco y Padre Las Casas, son muy similares, excepto el día viernes que presenta un comportamiento particular. Los días sábado y domingo presentan una baja en el flujo con respecto a los días laborales, siendo los flujos del día sábado mayores al del día domingo.

Por lo anterior, se definen 4 tipos de días: lunes a jueves, viernes, sábado y domingo. Con esta clasificación se obtuvo la distribución temporal de los flujos a nivel de semana, mostrada en la Tabla VII.9.

**Tabla VII.9 Distribución semanal de los flujos vehiculares**

Día	% Semanal
Lunes	15
Martes	15
Miércoles	15
Jueves	15
Viernes	16
Sábado	14
Domingo	10
Total	100

Como los datos de flujo por arco de la red vial extraídos de la modelación VIVALDI están referidos solo a la hora punta, fue necesario expandir este conteo a las demás horas del día para obtener una red vial con flujo hora a hora y permitir de esta forma, establecer la carga de cada arco durante las 24 horas del día. Utilizando la información de conteos horarios de flujos vehiculares en Temuco y Padre Las Casas, se obtuvieron los perfiles de expansión. De esta forma los factores correspondientes a las horas del resto del día a partir de la hora punta son los que se muestran en la Tabla VII.10.

Tabla VII.10 Factores de expansión de flujo.

Hora	Lunes-Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	0,18	0,19	0,61	1,30
2	0,13	0,14	0,44	1,00
3	0,10	0,11	0,39	0,88
4	0,11	0,12	0,34	0,75
5	0,12	0,13	0,34	0,75
6	0,20	0,20	0,39	0,68
7	0,67	0,67	0,67	0,80
8*	1,00	1,00	1,00	1,00
9	0,90	0,88	1,39	1,30
10	0,83	0,85	1,61	1,75
11	0,85	0,88	2,09	2,00
12	0,88	0,93	2,06	2,50
13	0,93	1,00	2,00	2,63
14	0,90	0,93	1,83	2,40
15	0,93	0,95	1,66	2,63
16	0,91	0,94	1,72	2,88
17	0,92	0,96	1,67	3,05
18	0,98	1,05	1,69	3,25
19	1,03	1,08	1,68	3,38
20	0,95	1,03	1,67	3,25
21	0,75	0,80	1,50	2,88
22	0,60	0,70	1,39	2,50
23	0,38	0,55	1,13	1,63
24	0,30	0,40	0,78	1,13

*Hora punta.



En cuanto a la distribución de flujos vehiculares durante el año, SECTRA define para la ciudad de Temuco dos períodos. Estos son Período normal, que va desde marzo a diciembre y el período verano, que comprende los meses de enero y febrero. Los meses del período normal corresponden a un 85% del flujo total anual y el período verano es el 15% restante. En resumen, el perfil temporal mensual para los flujos vehiculares queda estructurado como lo muestra la Tabla VII.11.

Tabla VII.11 Distribución mensual de los flujos vehiculares en Temuco y Padre Las Casas.

Mes	% anual
Enero	7.7
Febrero	7.7
Marzo	8.5
Abril	8.5
Mayo	8.5
Junio	8.5
Julio	8.5
Agosto	8.5
Septiembre	8.5
Octubre	8.5
Noviembre	8.5
Diciembre	8.5
Total	100

Fuente: SECTRA 2005

Una vez obtenidos los perfiles temporales, corresponde generar la distribución espacial de los flujos vehiculares. Los datos entregados por SECTRA, contienen una base de datos georeferenciada de cada arco y sus respectivos campos de información (en este caso los conteos de flujo). Con esta información se logró obtener una categorización de los arcos por flujo, cuyo resultado se grafica en la Figura 7.17.

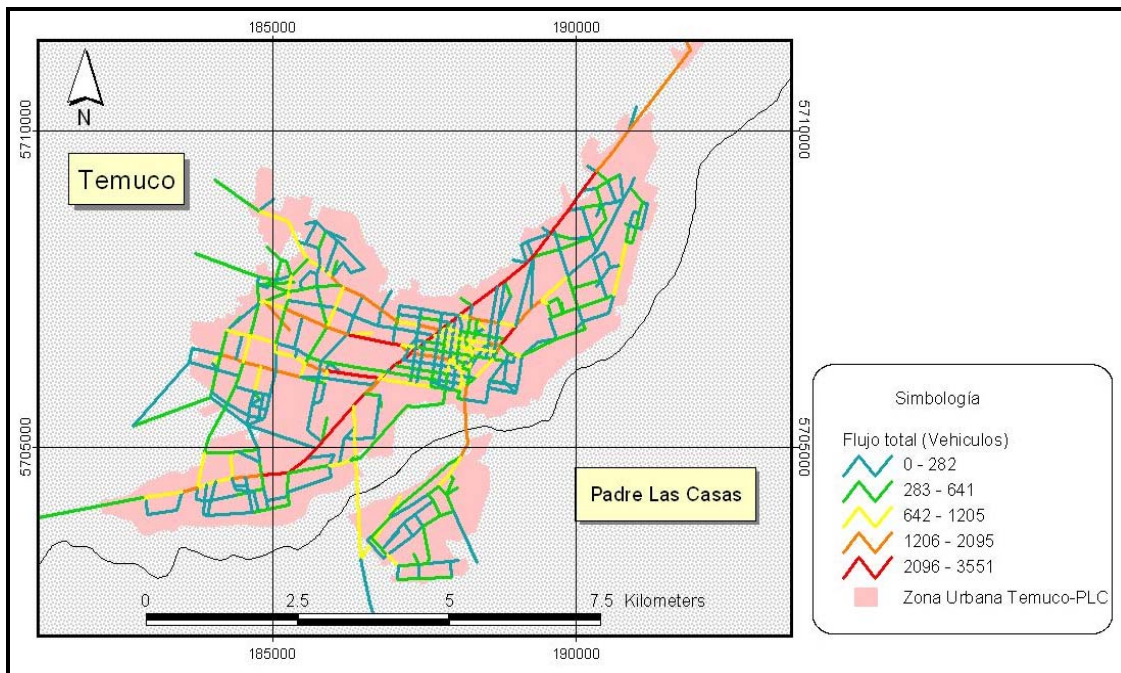


Figura 7.17 Flujos red vial Temuco y Padre Las Casas, hora punta año 2004

Con estos antecedentes, el resultado del inventario de emisiones se pudo distribuir espacialmente. Para ello, se consideró la proporción de flujo de cada arco para estimar en qué lugar físicamente corresponde la emisión. Es así como, la emisión calculada de 54.2 (ton/año) de PM10 para el año 2004 se distribuyó, en conformidad a los requerimientos del modelo CALPUFF. Esta distribución espacial se muestra en la Figura 7.18.

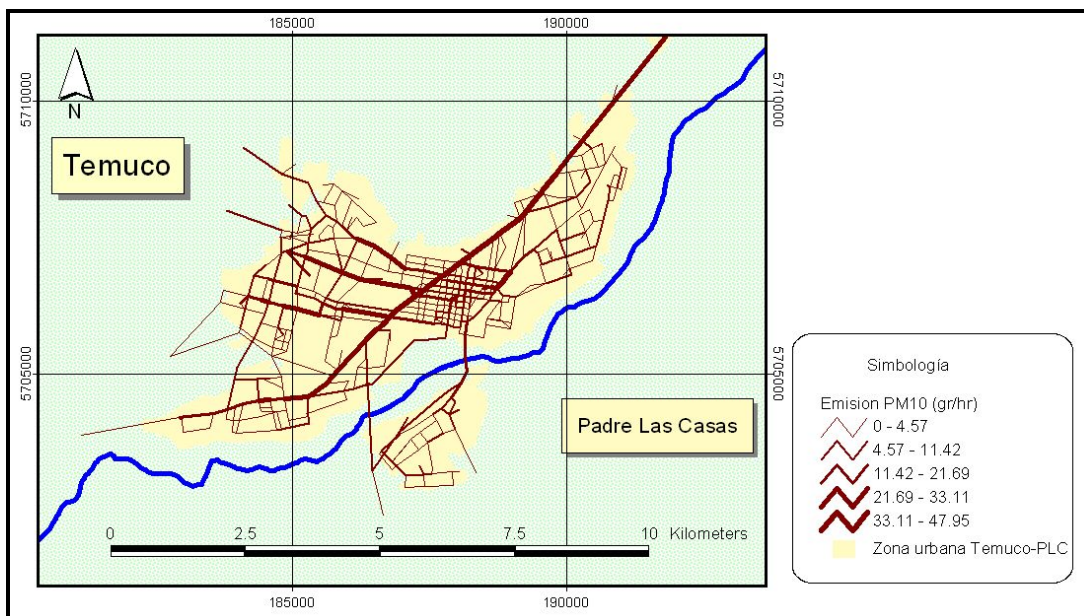


Figura 7.18 Emisión de cada arco de la red vial de Temuco y Padre Las Casas, hora punta, flujo total, 13 de Mayo 2004.



Por otra parte, las emisiones de las fuentes móviles según los requerimientos del modelo CAMx, obedecen a otra estructura espacial, estimándose un valor de emisión que representa a la suma de las emisiones de cada arco contenido dentro de cada celda del dominio. Esta distribución espacial de las emisiones se presenta en la Figura 7.19.

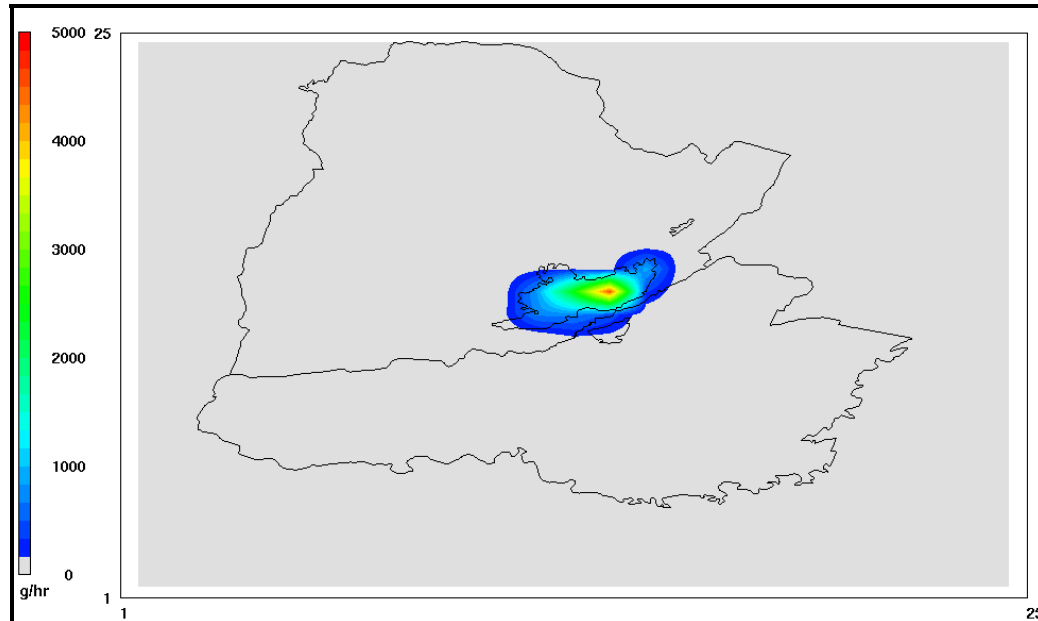


Figura 7.19 Emisión de la red vial de Temuco y Padre Las Casas, hora punta, flujo total, 13 de Mayo 2004

Para la caracterización de las fuentes móviles, se definieron cinco categorías: buses, camiones, vehículos particulares, taxis y vehículos comerciales. Los flujos para cada categoría permitieron establecer las tasas de emisiones para cada tipo, las que se muestran en las Figuras 7.20 a la 7.24.

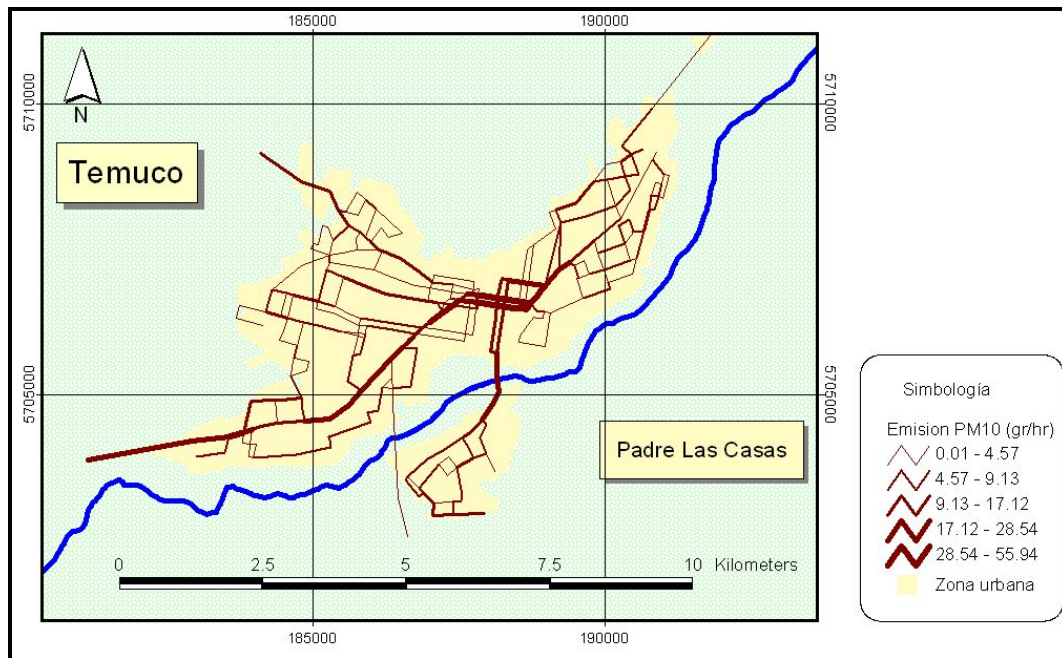


Figura 7.20 Emisiones de PM10 debido a los buses, hora punta 13 de Mayo año 2004.

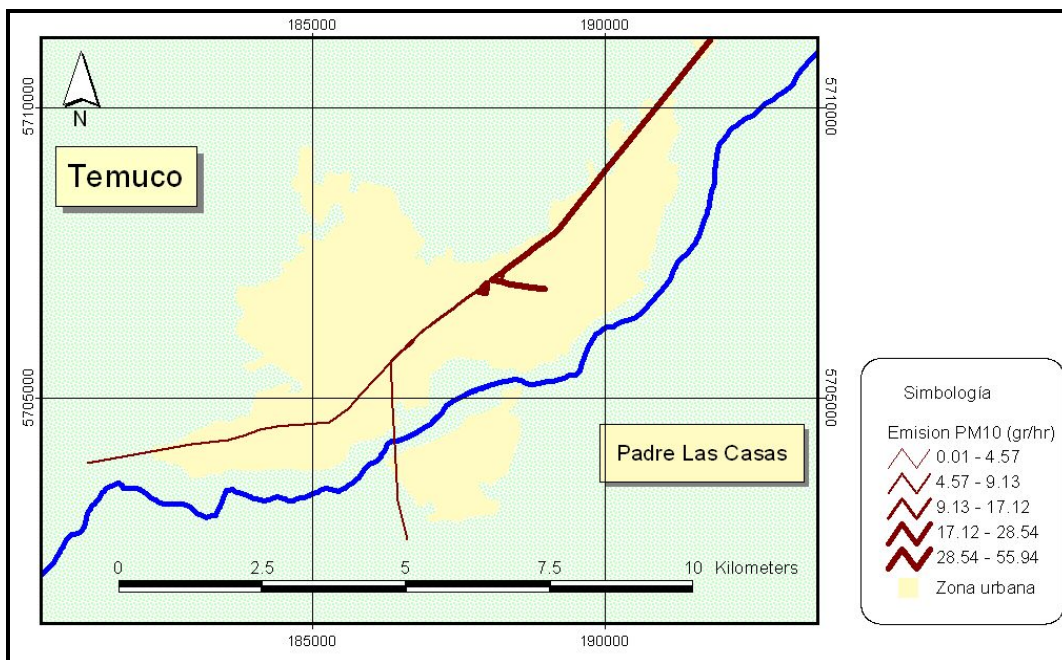


Figura 7.21 Emisiones de PM10 debido a los camiones, hora punta 13 de Mayo año 2004.

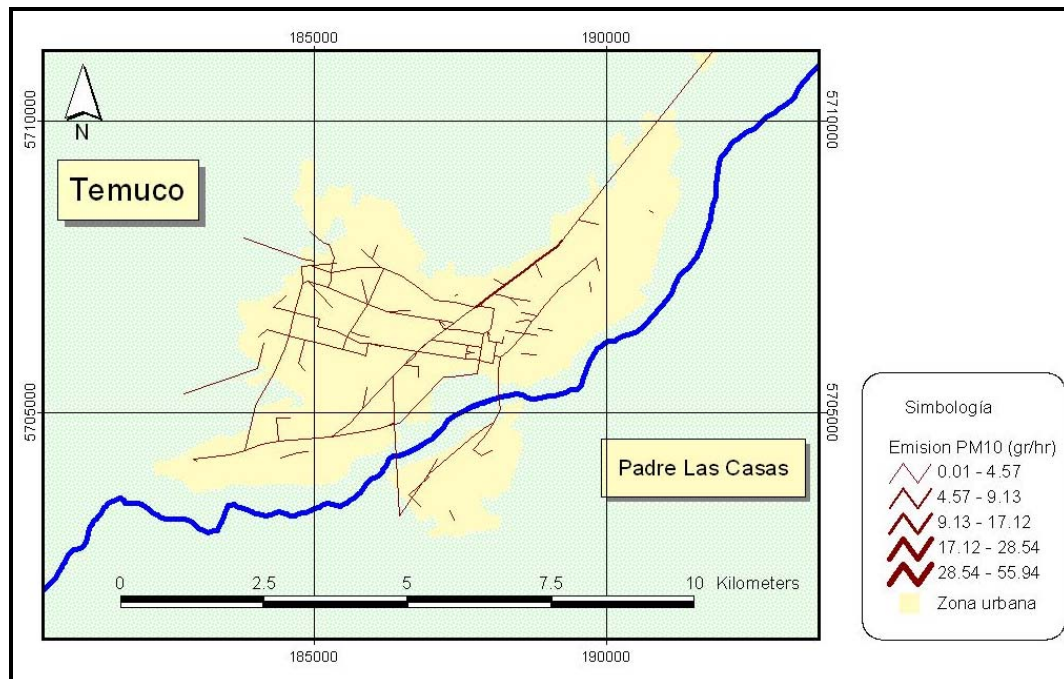


Figura 7.22 Emisiones de PM10 debido a los vehículos particulares, hora punta 13 de Mayo año 2004.

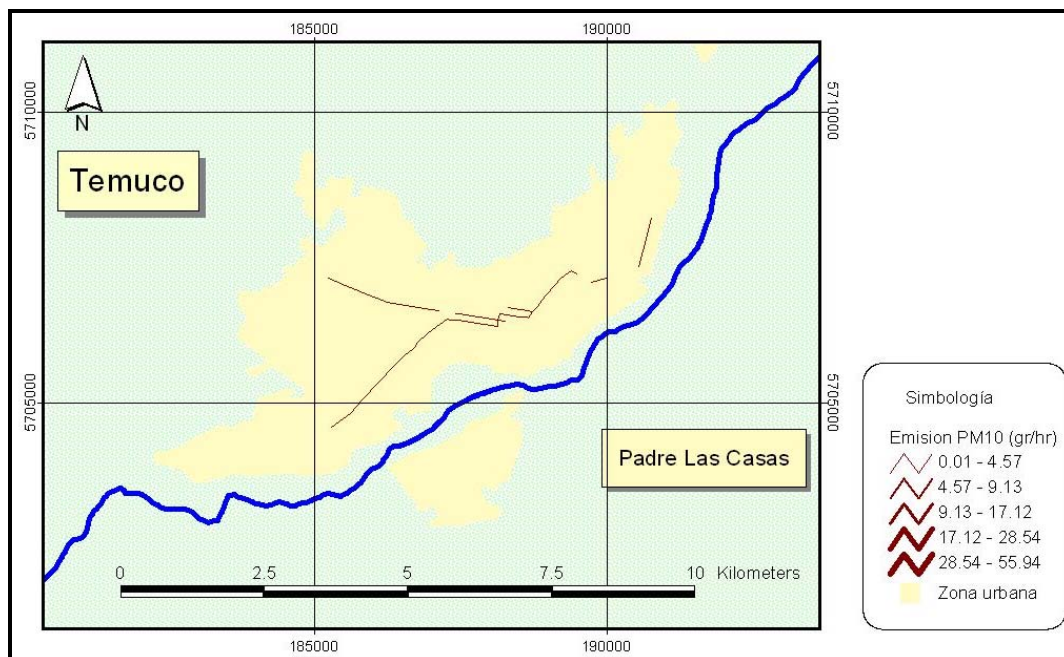


Figura 7.23 Emisiones de PM10 debido a los taxis, hora punta 13 de Mayo año 2004.

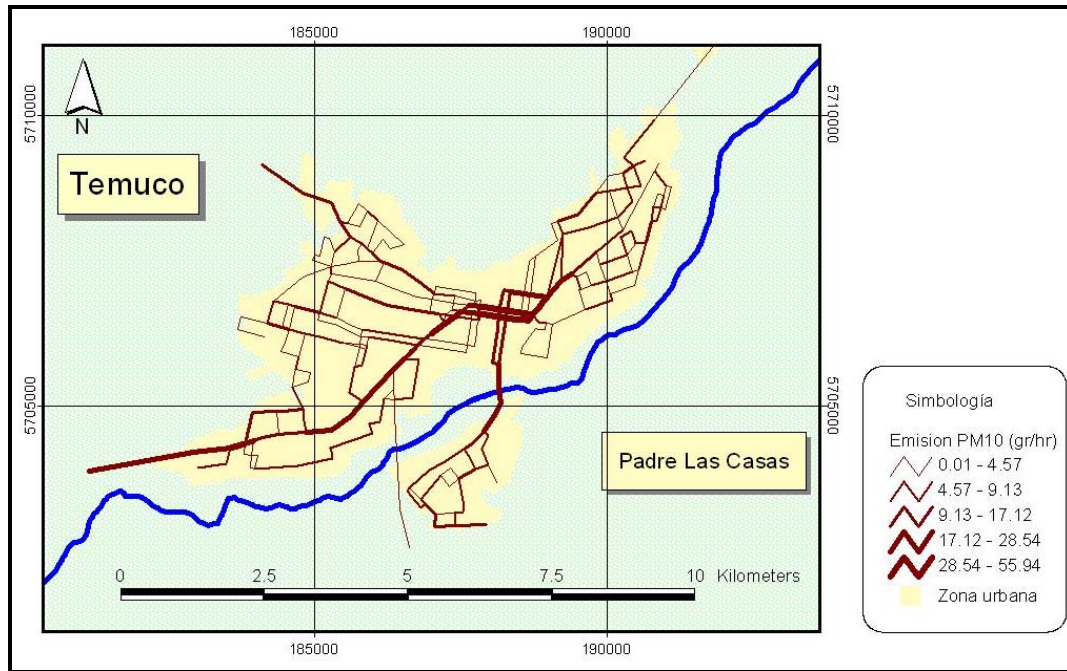


Figura 7.24 Emisiones de PM10 debido a los vehículos comerciales, hora punta 13 de Mayo año 2004.



7.5 Calidad del aire

Estos archivos se refieren a las condiciones iniciales y de borde durante el episodio. En él, se incluyen los niveles de concentración de especies contaminantes al momento de comenzar la modelación y los eventuales aportes desde regiones adyacentes al dominio respectivamente.

Para este efecto, se evaluará la inclusión de los datos observados en las estaciones Las Encinas y Padre Las Casas, y el iniciar las corridas del modelo un día antes del episodio, con esto se reduce la incertidumbre de las condiciones iniciales. La incertidumbre de las condiciones de borde, se minimizan al considerar un dominio mayor al del área de interés.

Para el escenario base, los valores de concentración de PM10 para las estaciones de monitoreo de la ciudad de Temuco se muestran en la Tabla VII.12

Tabla VII.12 Concentración inicial de PM10 para episodios de modelación.

Episodios	Estación monitora	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
31 marzo (00:00 hrs) 2003	LET	481
	PLC	129
12 mayo* (00:00 hrs) 2004	LET	24
	PLC	20

* Se utilizaron los valores del día 13 porque no existe registro para ese día.



7.6 Parámetros químicos

7.6.1 Albedo, neblina y columna de ozono

Para el cálculo del albedo superficial, neblina, y columna de ozono se utilizó la información del Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) que entrega el espesor de la capa de ozono en unidades Dobson, para el día indicado de la modelación y para una resolución de 1.25 grados de Longitud por 1 grado de Latitud sobre la superficie terrestre.

La preparación de estos archivos, se realizaron a través del procesador del modelo CAMx denominado Ahomap que integra la información del uso de suelo y los datos obtenidos desde el TOMS. El resultado de este procedimiento, es una tabla con cinco códigos de albedo superficial, cinco códigos de columnas de ozono y tres códigos de neblina, cuyos valores se muestran en la Tabla VII.13.

Tabla VII.13 Valores de albedo, neblina y columnas de ozono para la zona de estudio.

Tipo de dato	Valor
Albedo	0.052
	0.057
	0.063
	0.069
	0.075
Neblina	0.047
	0.094
	0.188
Columna de ozono (Dobson)	0.327
	0.338
	0.349
	0.360
	0.371

Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó, el cálculo de estos valores, dependen de la composición del uso de suelo del área de estudio y de la latitud de la zona. Sin embargo, como la diferencia latitudinal del dominio de modelación es pequeña, el valor de columna de ozono y neblina no varía dentro del dominio de modelación. La distribución espacial del albedo sobre el dominio, se observa en la Figura 7.25, en la que se muestra la variación espacial producto de la presencia de la zona urbana de la ciudad de Temuco, Padre Las Casas, y Lautaro.

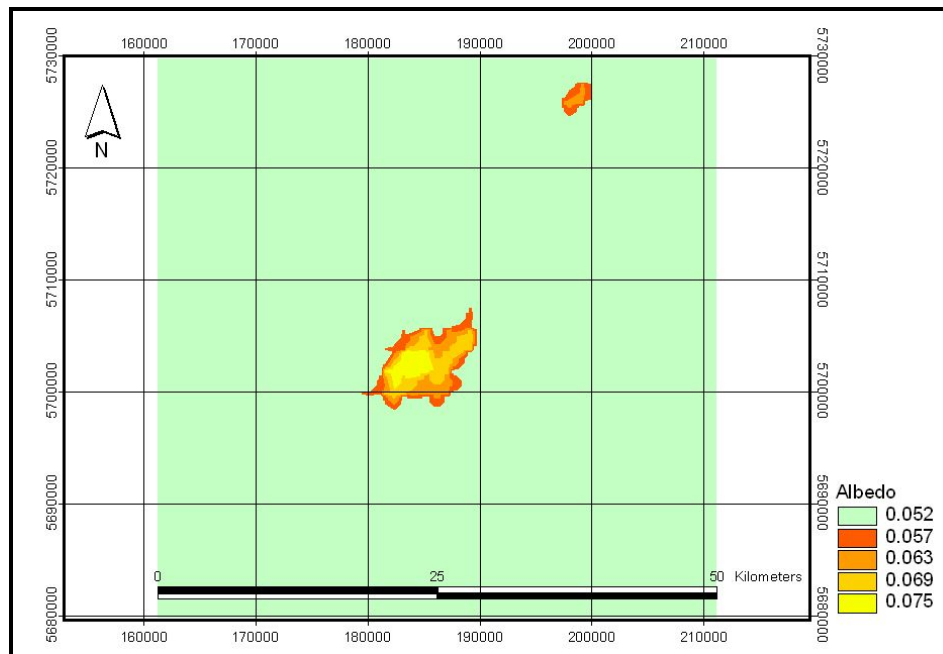


Figura 7.25 Distribución espacial de albedo sobre el dominio

7.6.2 Tasas de fotólisis

Para la modelación fotoquímica, se requiere de una Tabla de fotólisis que contenga la tasa de reacción para aquellas especies químicas que dependan de la radiación solar.

Esta tasa de fotólisis está en función del ángulo solar de incidencia (zenith), albedo superficial, columna de ozono, neblina, y altura sobre la superficie. Para su cálculo, el modelo CAMx cuenta con un procesador que integra los datos de albedo, columnas de ozono y neblina, además de los parámetros que requiere del mecanismo químico.

Para este estudio, se utilizó el mecanismo químico Carbon Bond IV, el cual considera 6 reacciones químicas dependientes de la radiación solar para las que se obtienen las tablas de fotólisis (expresadas en min^{-1}). Las dimensiones de los parámetros sobre los que se calcularon los valores de fotólisis se muestran en la Tabla VII.14.

Tabla VII.14 Parámetros utilizados en el cálculo de las tasas de fotólisis.

Parámetro	Número	Valores
Angulo Solar de incidencia (grados)	10	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 78, 86, 90
Altura sobre la superficie (metros)	11	0, 150, 360, 640, 980, 1380, 1840, 2350, 2910, 3530, 4210
Columna de ozono (Dobson)	5	0.327, 0.338, 0.349, 0.360, 0.371
Albedo	5	0.052, 0.057, 0.063, 0.069, 0.075
Neblina	3	0.047, 0.094, 0.188

Fuente: User's Guide CAMx, Agosto 2004.



VIII EVALUACIÓN DE LA MODELACIÓN DEL CASO BASE

Con los archivos de terreno, de meteorología, y las bases de emisión especiadas, engrilladas, y temporalizadas (Capítulo VII), se realizaron las corridas del caso base considerando todas las fuentes incluidas en el inventario de emisiones 2004 para los dos episodios seleccionados, utilizando los sistemas CALMET/CALPUFF y MM5/SMOKE/CAMx.

Ambos modelos iniciaron sus corridas un día antes del comienzo del episodio, esto con el fin de minimizar la influencia de las condiciones iniciales en los resultados del modelo. Debido a que la concentración de PM₁₀ mínima registrada durante el período de análisis fue 1 µg/m³, se consideró un valor de fondo de 0 µg/m³.

Una vez realizadas las corridas de los modelos, los resultados se compararon con los datos de PM₁₀ monitoreados en las estaciones de Las Encinas (LET) y Padre Las Casas (PLC) para evaluar el ajuste de la modelación. La evaluación se realizó siguiendo la guía para modelación de MP de la USEPA (2001) [8]. De esta forma, se construyeron gráficos de series temporales y se calculó la métrica de error normalizado, obtenido entre los valores medidos y las predicciones de los modelos.

Las Tablas VIII.1 y VIII.2 muestran los resultados obtenidos al correr el sistema CALMET/CALPUFF para el episodio 1 y 2, respectivamente. Las Figuras 8.1 a 8.4 muestran las series temporales horarias entre los datos monitoreados y predichos en cada estación monitorea y episodio modelado.

Tabla VIII.1 Concentración de PM₁₀ predicha CALPUFF v/s medida, Episodio 1

Días	Estación Las Encinas		Estación Padre las Casas	
	[] Observada	[] Predicha	[] Observada	[] Predicha
12/05/04	S/I	59	75	70
13/05/04	151	56	176	82
14/05/04	144	84	187	33
15/05/04	229	80	197	188
16/05/04	215	61	145	290
17/05/04	183	70	201	203
18/05/04	201	92	150	268

S/I: Sin Información

Tabla VIII.2 Concentración de PM₁₀ predicha CALPUFF v/s medida, Episodio 2

Días	Estación Las Encinas		Estación Padre las Casas	
	[] Observada	[] Predicha	[] Observada	[] Predicha
31/03/2003	26	50	51	128
01/04/2003	66	42	140	109
02/04/2003	S/I	27	123	86

S/I: Sin Información

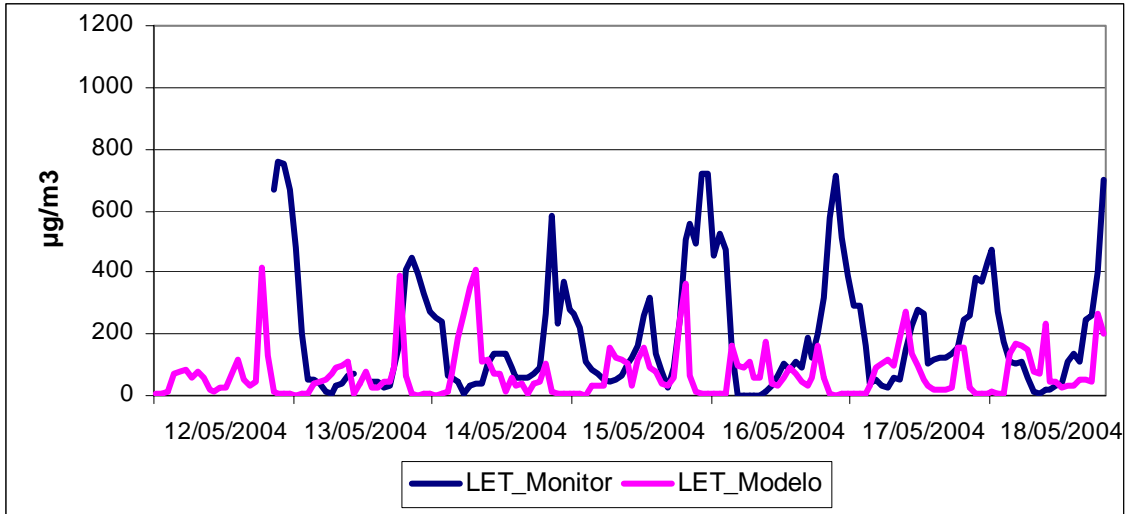


Figura 8.1 Serie de Tiempo de PM10 Modelada CALPUFF y Observada LET Episodio 1

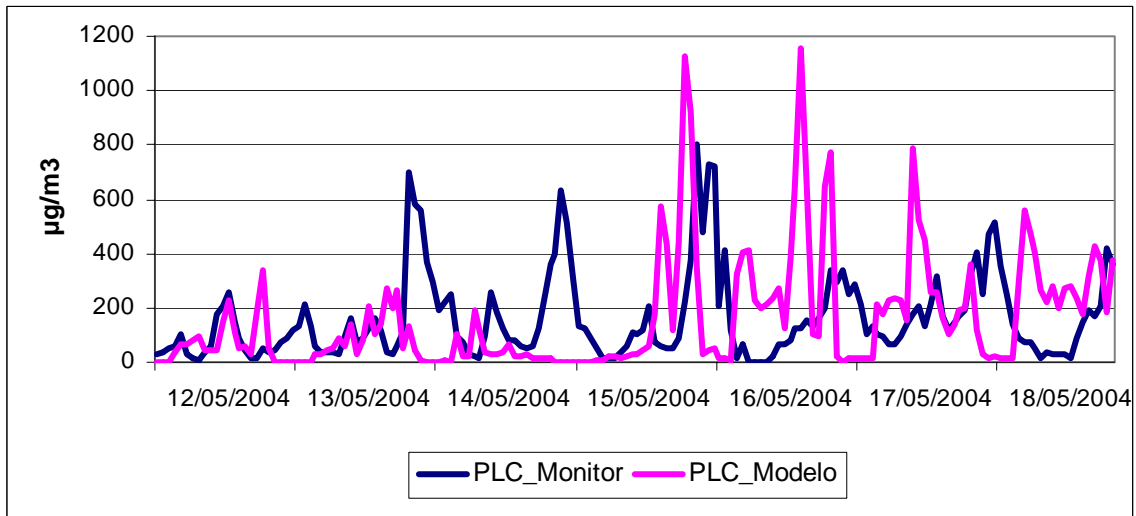


Figura 8.2 Serie de Tiempo de PM10 Modelada CALPUFF y Observada PLC Episodio 1

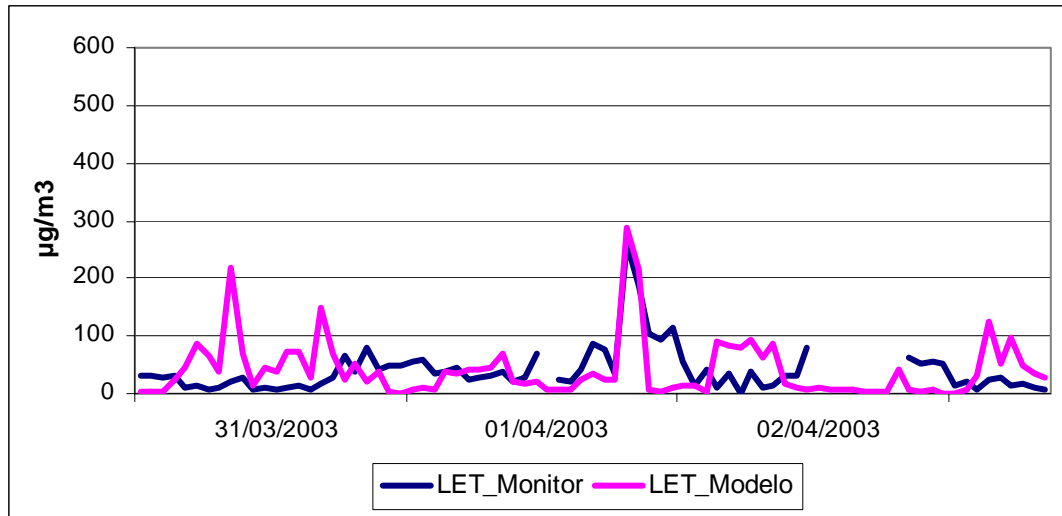


Figura 8.3 Serie de Tiempo de PM10 Modelada CALPUFF y Observada LET Episodio 2

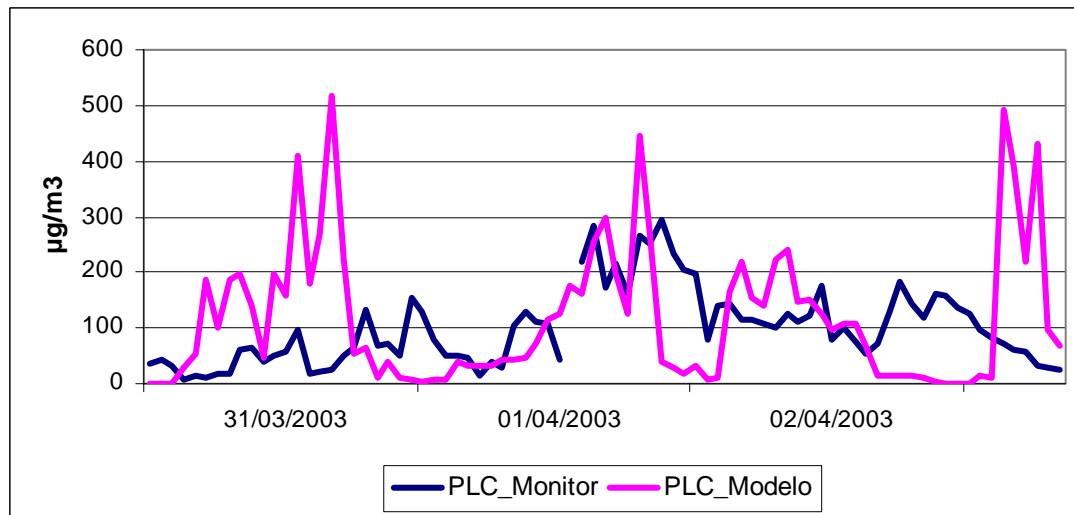


Figura 8.4 Serie de Tiempo de PM10 Modelada CALPUFF y Observada PLC Episodio 2



Las Tablas VIII.3 y VIII.4 muestran los resultados obtenidos al correr el sistema MM5/SMOKE/CAMx para el episodio 1 y 2, respectivamente. Las Figuras 8.5 a 8.8 muestran las series temporales horarias entre los datos monitoreados y predichos en cada estación monitorea y episodio modelado.

Tabla VIII.3 Concentración de PM10 predicha CAMx v/s medida, Episodio 1

Días	Estación Las Encinas		Estación Padre las Casas	
	[] Observada	[] Predicha	[] Observada	[] Predicha
12/05/04	S/I	112	75	91
13/05/04	151	115	176	75
14/05/04	144	173	187	117
15/05/04	229	261	197	140
16/05/04	215	183	145	145
17/05/04	183	174	201	95
18/05/04	201	180	150	101

S/I: Sin Información

Tabla VIII.4 Concentración de PM10 predicha CAMx v/s medida, Episodio 2

Días	Estación Las Encinas		Estación Padre las Casas	
	[] Observada	[] Predicha	[] Observada	[] Predicha
31/03/2003	26	39	51	32
01/04/2003	66	98	140	99
02/04/2003	S/I	98	123	73

S/I: Sin Información

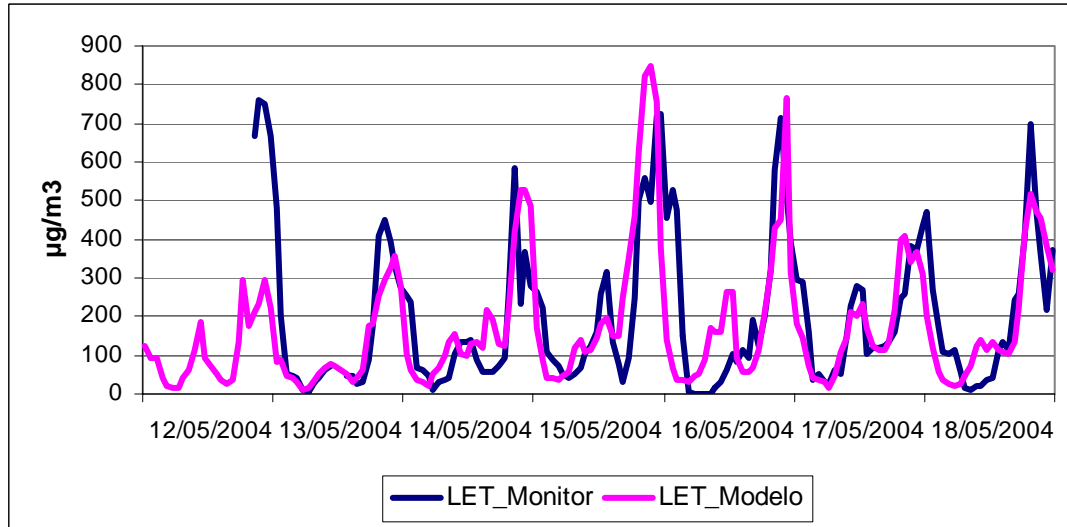


Figura 8.5 Serie de Tiempo de PM10 Modelada CAMx y Observada LET Episodio 1

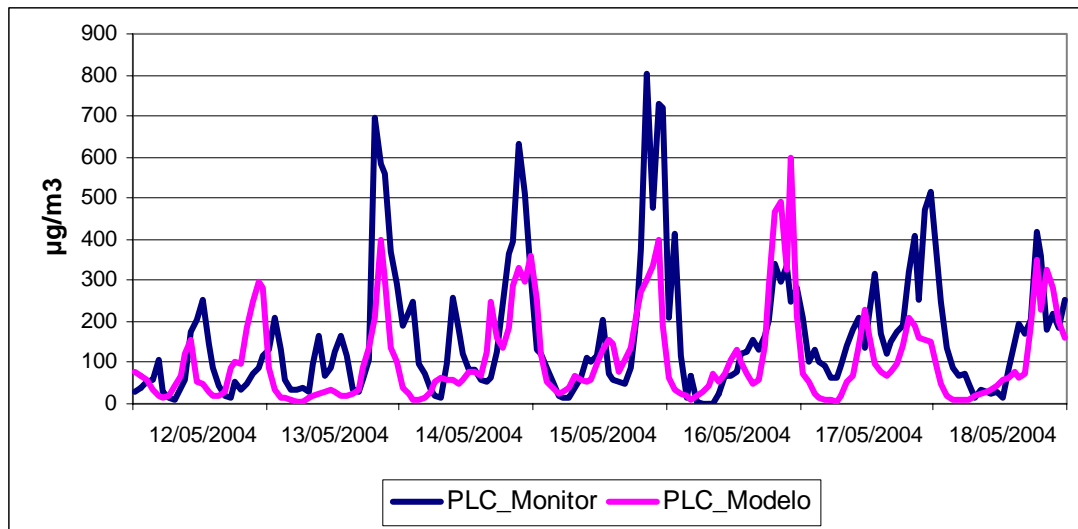


Figura 8.6 Serie de Tiempo de PM10 Modelada CAMx y Observada PLC Episodio 1

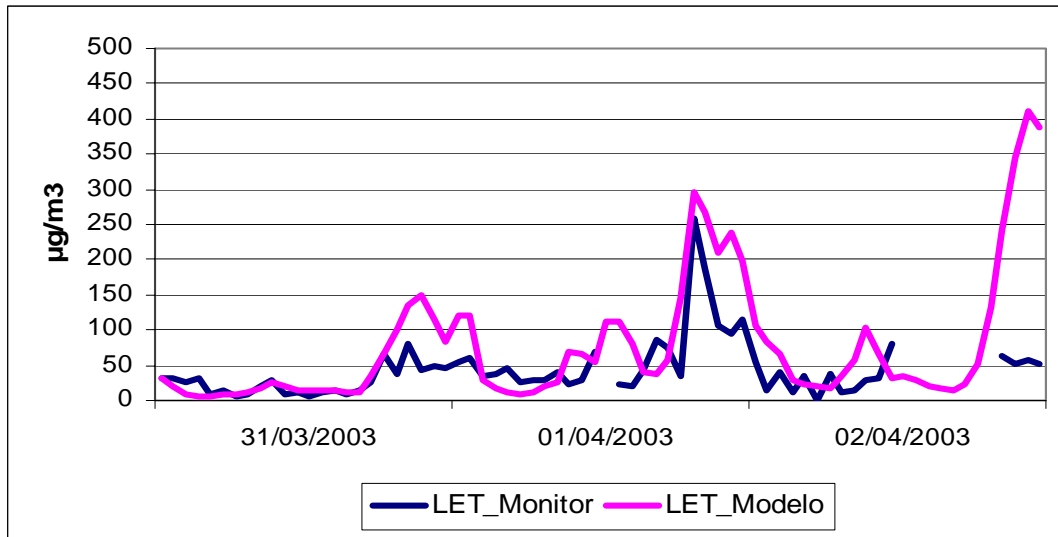


Figura 8.7 Serie de Tiempo de PM10 Modelada CAMx y Observada LET Episodio 2

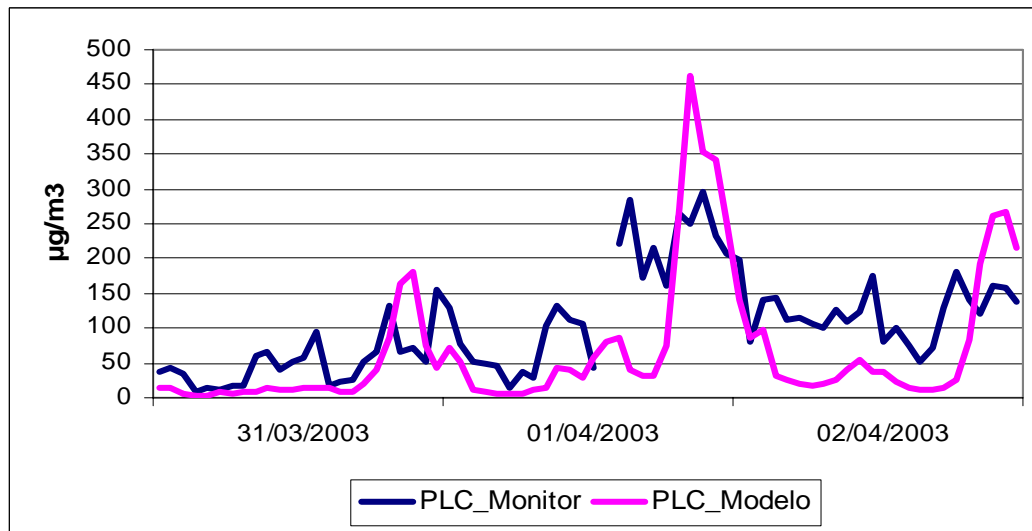


Figura 8.8 Serie de Tiempo de PM10 Modelada CAMx y Observada PLC Episodio 2

Al comparar los resultados predichos por los modelos con las concentraciones medidas en las Estaciones de Las Encinas y Padre las Casas, se observa que el sistema CALPUFF subestima y sobreestima las concentraciones de PM10 en forma errática, no logrando ajustarse al perfil horario de concentraciones registradas en dichas estaciones, sin embargo, el sistema CAMx logra reproducir de mejor forma el perfil horario de PM10 en ambas estaciones. Esto último permite inferir que el sistema CAMx tiene mejor desempeño.



Las Tablas VIII.5 y VIII.6 muestran las métricas de bondad de ajuste de los modelos para cada episodio. De las Tablas se observa que el sistema de modelación MM5/SMOKE/CAMx presenta un mejor ajuste. Debido a lo anterior, se decide continuar con el sistema CAMx, quién además, permite estimar la contribución de particulado secundario al PM10 en el área de estudio.

Tabla VIII.5 Error normalizado concentración de PM10 en 24 hrs, según sistema de modelación - Episodio 1

Días	Estación Las Encinas		Estación Padre las Casas	
	CALPUFF	CAMx	CALPUFF	CAMx
12/05/04	-	-	-6	22
13/05/04	-63	-24	-53	-57
14/05/04	-41	21	-82	-37
15/05/04	-65	14	-5	-29
16/05/04	-72	-15	100	0
17/05/04	-62	-5	1	-52
18/05/04	-54	-10	79	-32

Tabla VIII.6 Error normalizado de concentración de PM10 en 24 hrs, según sistema de modelación - Episodio 2

Días	Estación Las Encinas		Estación Padre las Casas	
	CALPUFF	CAMx	CALPUFF	CAMx
31/03/2003	92	47	151	-36
01/04/2003	-36	48	-22	-29
02/04/2003	-	-	-30	-40



8.1 Aporte por fuentes

Para evaluar el aporte por fuentes y el impacto de las medidas de reducción de emisiones, se utilizó el Episodio 1 del año 2004, por ser el que presentó el mejor ajuste, por contar con un mayor número de días (incluidos días laborales y fin de semana), y por corresponder al año del inventario de emisiones.

Con el sistema MM5/SMOKE/CAMx, se realizaron corridas para determinar el aporte de distintos grupos de fuentes a las concentraciones de PM₁₀ en el área de estudio. Las Tablas VIII.7 y VIII.8 muestran las concentraciones de PM₁₀ en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ esperadas en la estación Las Encinas (LET), y Padre Las Casas (PLC), respectivamente, debidas a cada grupo de fuentes emisoras. De ellas se observa que las fuentes Residenciales aportan sobre el 98.3% a las concentraciones registradas en ambas estaciones. De este grupo de fuentes, las cocinas aportan el 52% en LET y el 58% en PLC. De las fuentes no residenciales, las industrias son las que más aportan, con un 1% y 1.3%, para LET y PLC, respectivamente. La contribución de las quemas agrícolas, incendios forestales, edificios, y los vehículos no se refleja en las estaciones monitoras, siendo su contribución más bien local.

El día 12 de Mayo no se considera en el cálculo del promedio por que es el día previo al episodio, que se utiliza para estabilizar el modelo.

Tabla VIII.7 Aportes por Fuente a las concentraciones de PM₁₀ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ LET

Días	Edificios	Incendios	Industrias	Quemas	Vehículos	Cocina	Salamandras	Est Simple	Est Doble	Chimenea	No Residenciales	Residenciales	Total Fuentes
12-Mayo	0.1	0.1	1.0	0.1	0.5	58	9	33	4	6	2	110	112
13-Mayo	0.2	0.2	1.1	0.2	0.5	61	8	35	4	6	2	113	115
14-Mayo	0.2	0.2	2.3	0.1	0.6	86	14	53	7	10	3	170	173
15-Mayo	0.1	0.2	2.1	0.1	0.7	137	20	77	9	14	3	257	261
16-Mayo	0.2	0.3	2.1	0.3	0.5	89	14	58	7	10	3	179	183
17-Mayo	0.3	0.4	1.6	0.3	0.8	92	14	50	6	8	3	170	174
18-Mayo	0.2	0.4	1.8	0.3	0.7	95	14	51	6	10	3	177	180
PROMEDIO	0.2	0.3	1.8	0.2	0.6	93	14	54	7	10	3	178	181



Tabla VIII.7 Aportes por Fuente a las concentraciones de PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PLC

Días	Edificios	Incendios	Industrias	Quemas	Vehículos	Cocina	Salamandras	Est Simple	Est Doble	Chimenea	No Residenciales	Residenciales	Total Fuentes
12-Mayo	0.1	0.2	1.1	0.2	0.2	54	7	23	2	3	2	89	91
13-Mayo	0.1	0.2	0.8	0.1	0.1	45	5	20	2	2	1	73	75
14-Mayo	0.1	0.2	1.6	0.1	0.2	69	10	28	3	5	2	115	117
15-Mayo	0.1	0.2	1.7	0.2	0.1	83	11	36	3	5	2	137	140
16-Mayo	0.2	0.3	1.9	0.2	0.2	83	11	39	4	6	3	142	145
17-Mayo	0.2	0.3	1.6	0.4	0.2	53	9	24	3	4	3	93	95
18-Mayo	0.2	0.3	1.4	0.4	0.2	57	8	26	3	5	2	99	101
PROMEDIO	0.2	0.2	1.5	0.2	0.2	65	9	29	3	4	2	110	112

Contribución máxima por Fuente

Aún cuando la evaluación del Plan de Descontaminación se basará en las concentraciones por PM10 medidas en las estaciones de monitoreo, es necesario determinar si existen sectores dentro de la ciudad en que las concentraciones de PM10 sean mayores a las registradas en dichas estaciones. De la modelación se desprende que el máximo global (debido a todas las fuentes), ocurre en la celda en que se localiza la estación LET, pero individualmente los máximos varían según la fuente. La Tabla VIII.9 muestra el aporte máximo de PM10 en 24 horas, por fuente para el episodio del año 2004. Estos máximos ocurren en días y lugares distintos dentro de la semana de modelación.

Tabla VIII.9 Máxima contribución de PM10 por fuente

Fuentes	Edificios	Incendios	Industrias	Quemas	Vehículos	Cocina	Salamandras	Est Simple	Est Doble	Chimenea
[PM10] $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio 24 horas máxima del período	1.0	5.0	3.0	4.0	2.0	137	21	81	13	17

La Figura 8.1 muestra la distribución espacial de las concentraciones en 24 horas de PM10, el área de influencia, y el sector de máxima concentración, debido al aporte de todas las fuentes modeladas simultáneamente.

Las Figuras 8.2 a 8.11 muestran la distribución espacial de las concentraciones de PM10 en 24 horas, el área de influencia, y el sector de máxima concentración, debido al aporte de cada fuente modelada individualmente.

De estas figuras se desprende que las emisiones de PM10 de las industrias, las cocinas, estufas simples, y quemas agrícolas, logran impactar más allá del límite de las comunas de Temuco y Padre las Casas. Particularmente, durante los días del período modelado, las



concentraciones de PM10 debidas a estas fuentes alcanzan a las comunas de Vilcún y Lautaro.

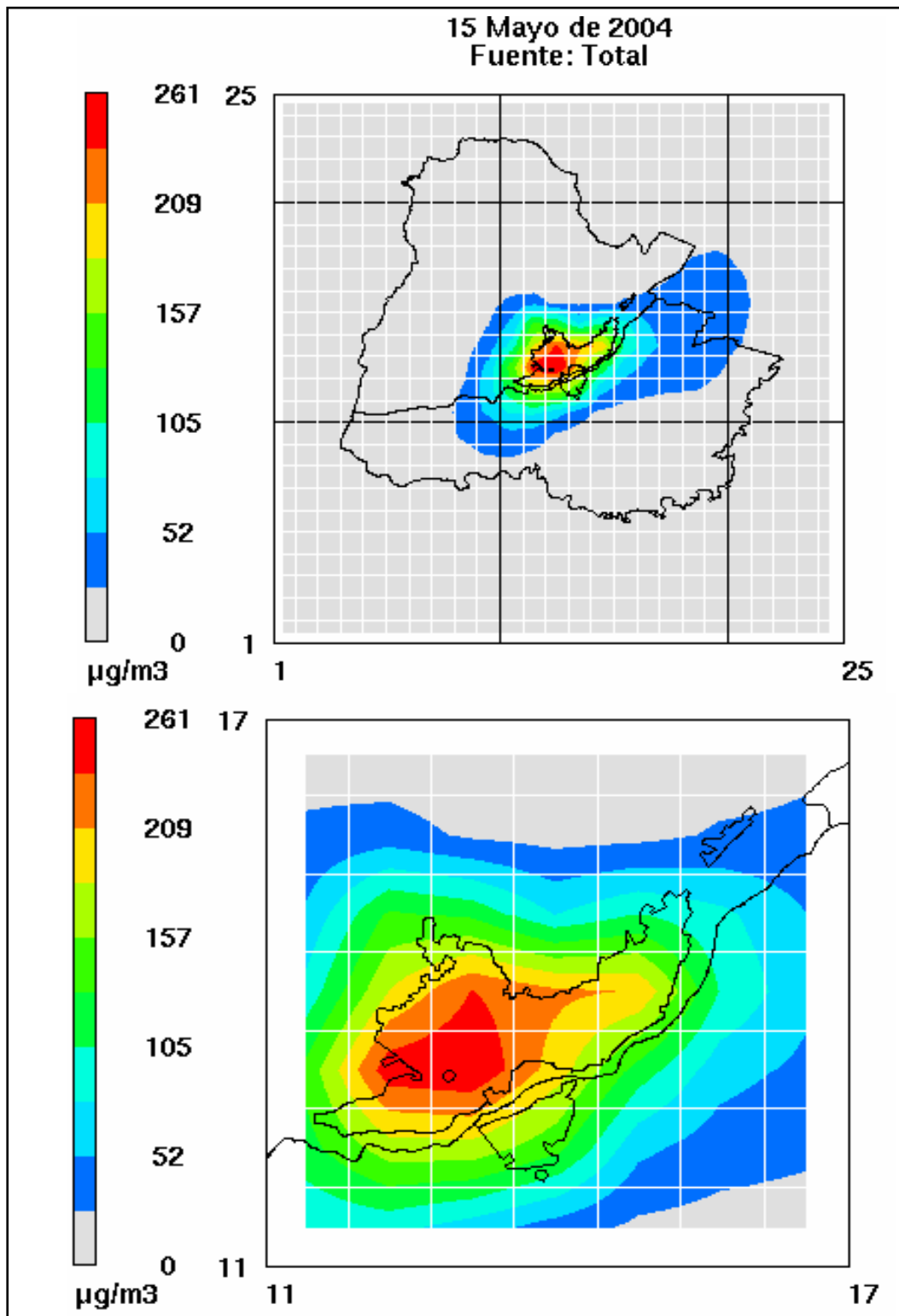


Figura 8.1 Concentración de PM10 máxima en 24 horas debido al Total de fuentes

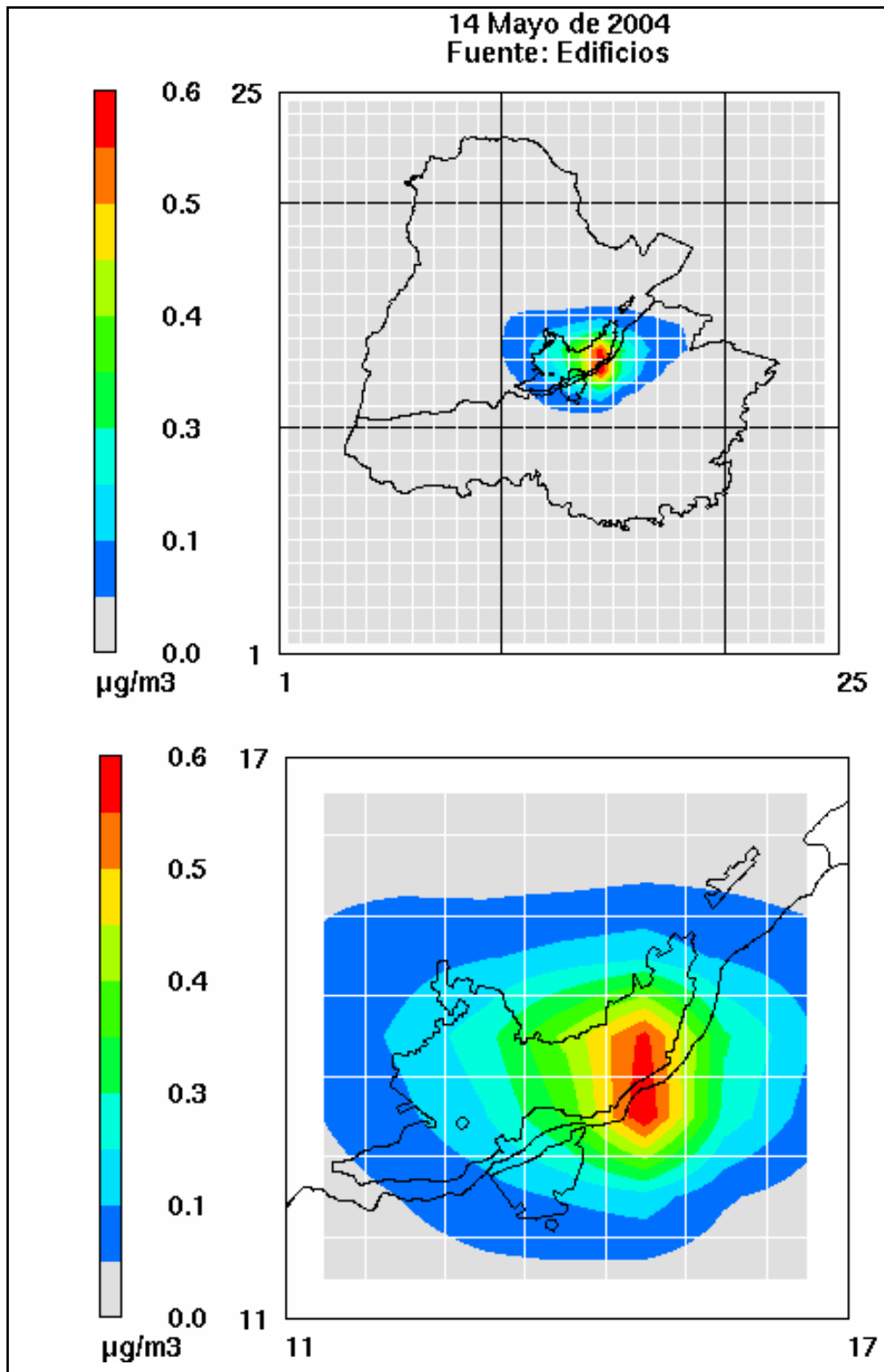


Figura 8.2 Concentración de PM10 máxima en 24 horas debido a Edificios

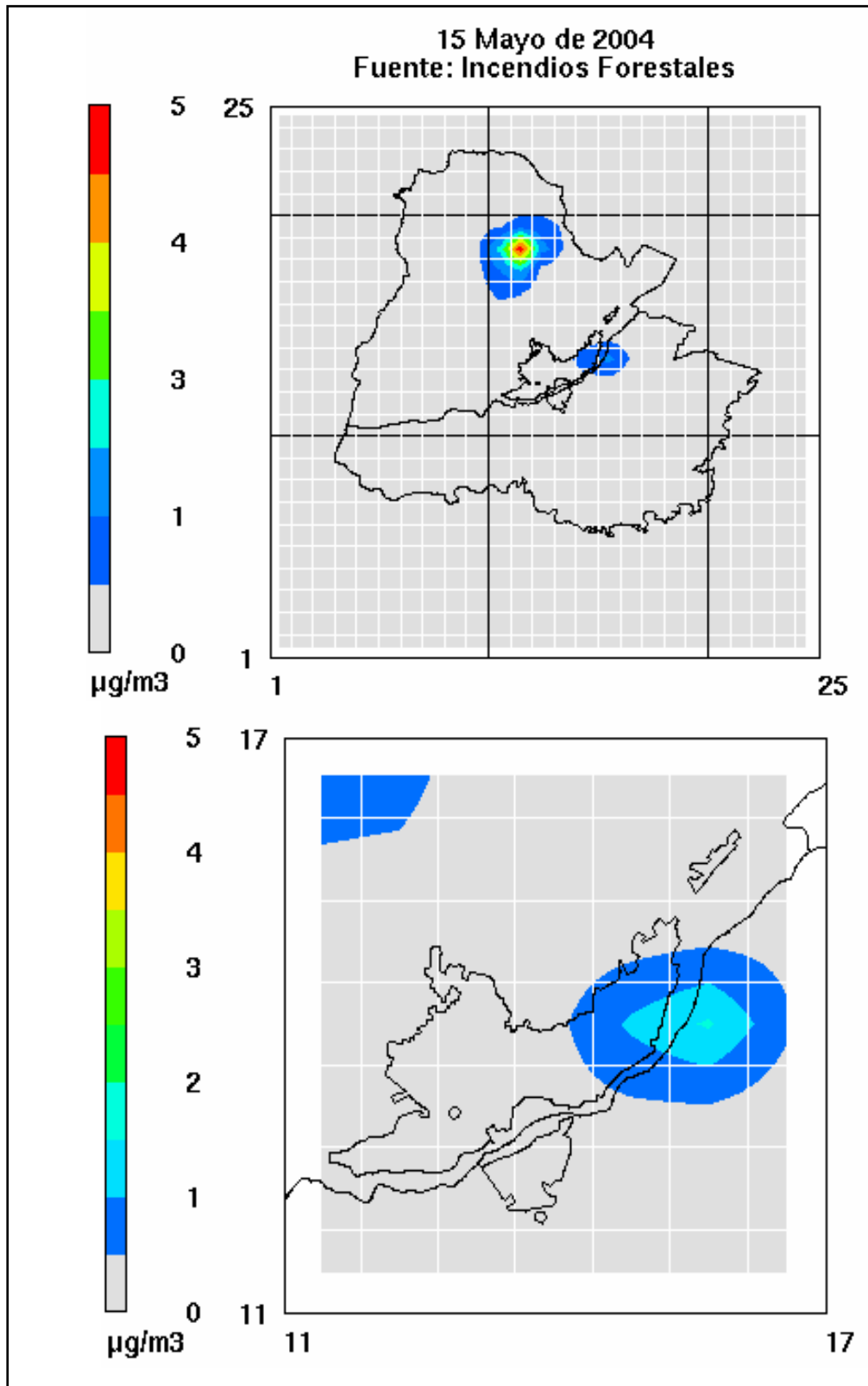


Figura 8.3 Concentración de PM10 máxima en 24 horas debido a Incendios Forestales.

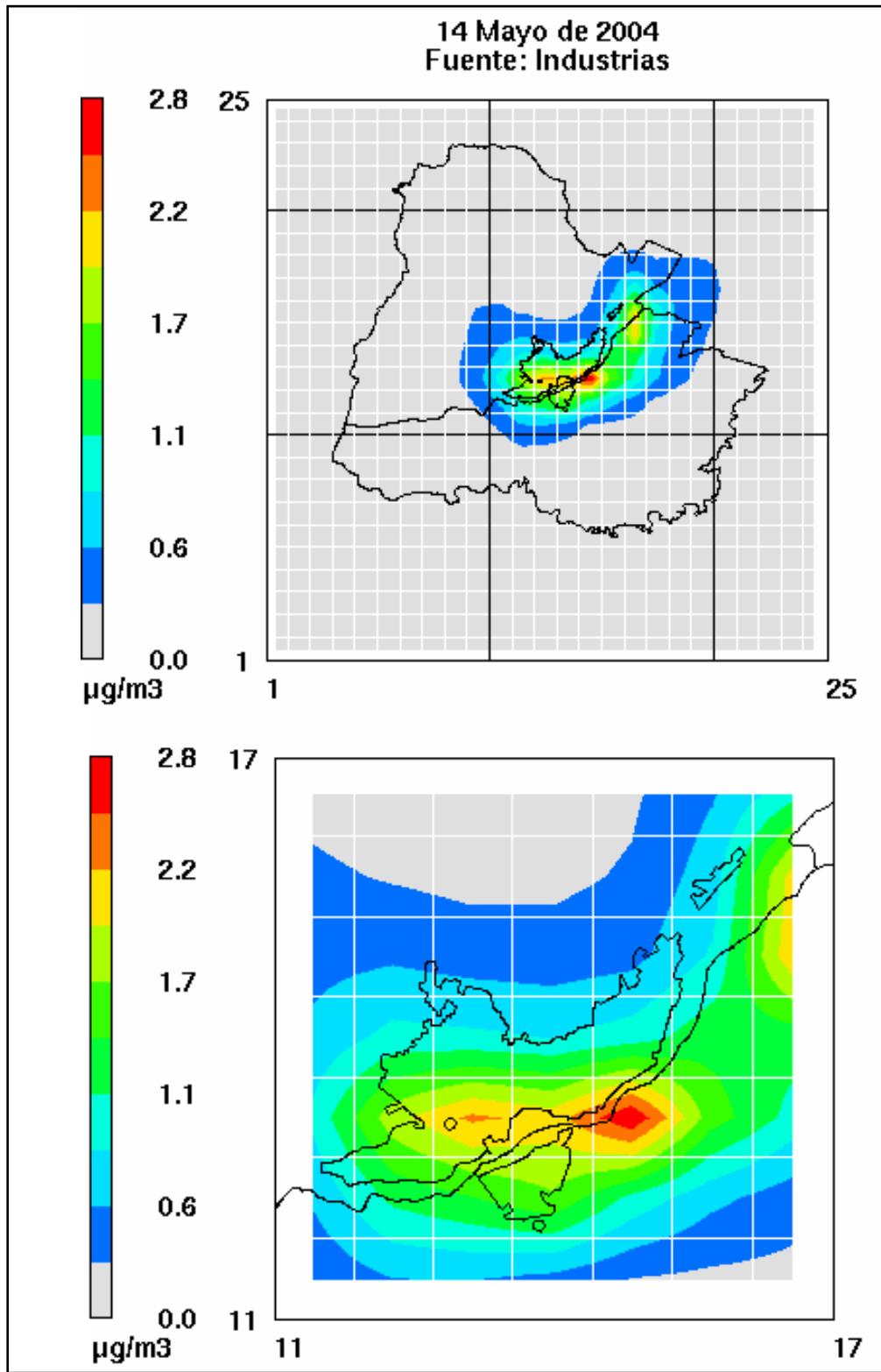


Figura 8.4 Concentración de PM10 máxima en 24 horas debido a Fuentes Industriales.

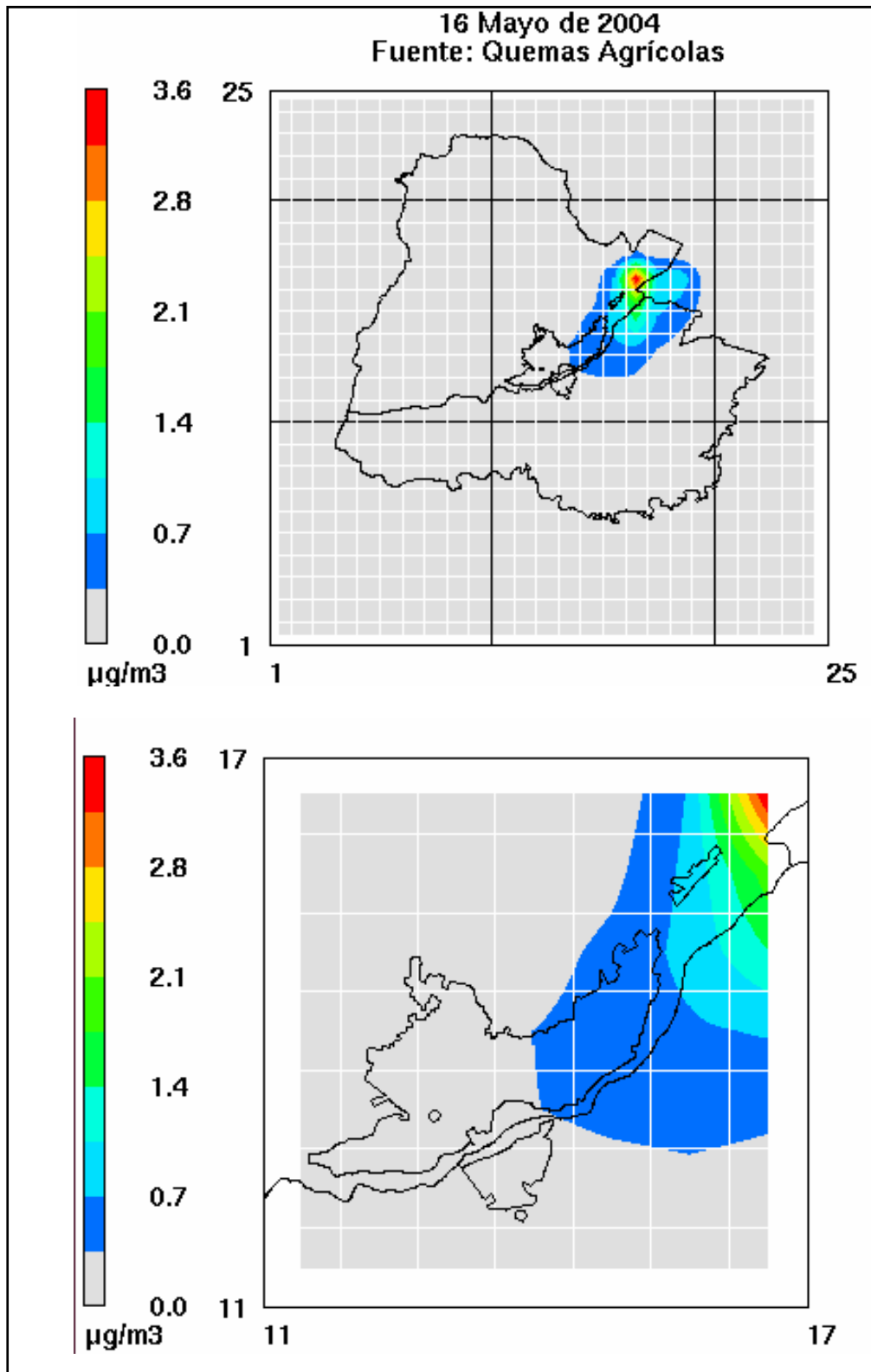


Figura 8.5 Concentración de PM10 máxima en 24 horas debido a Quemas Agrícolas

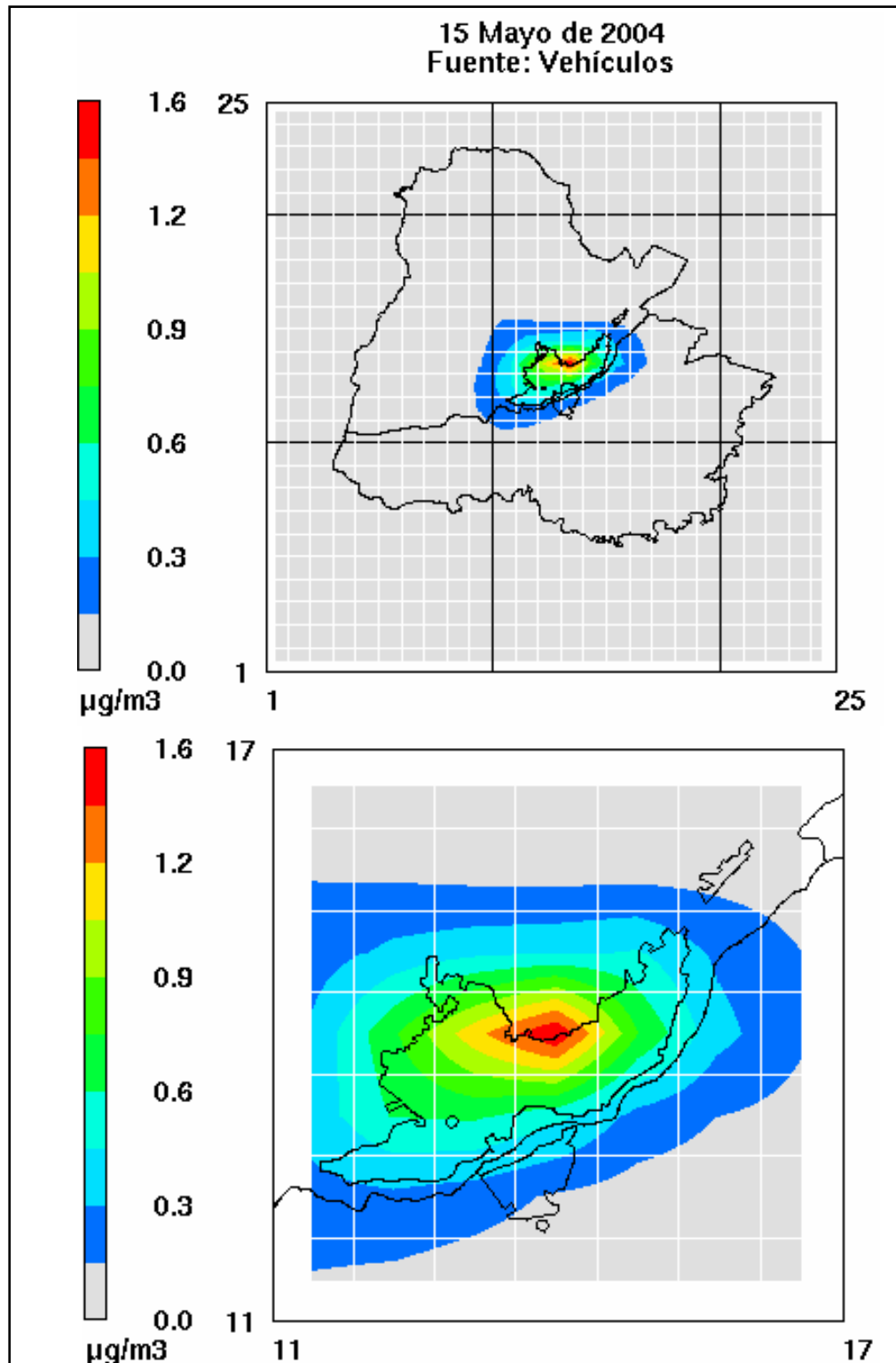


Figura 8.6 Concentración de PM10 máxima en 24 horas debido a Fuentes Móviles

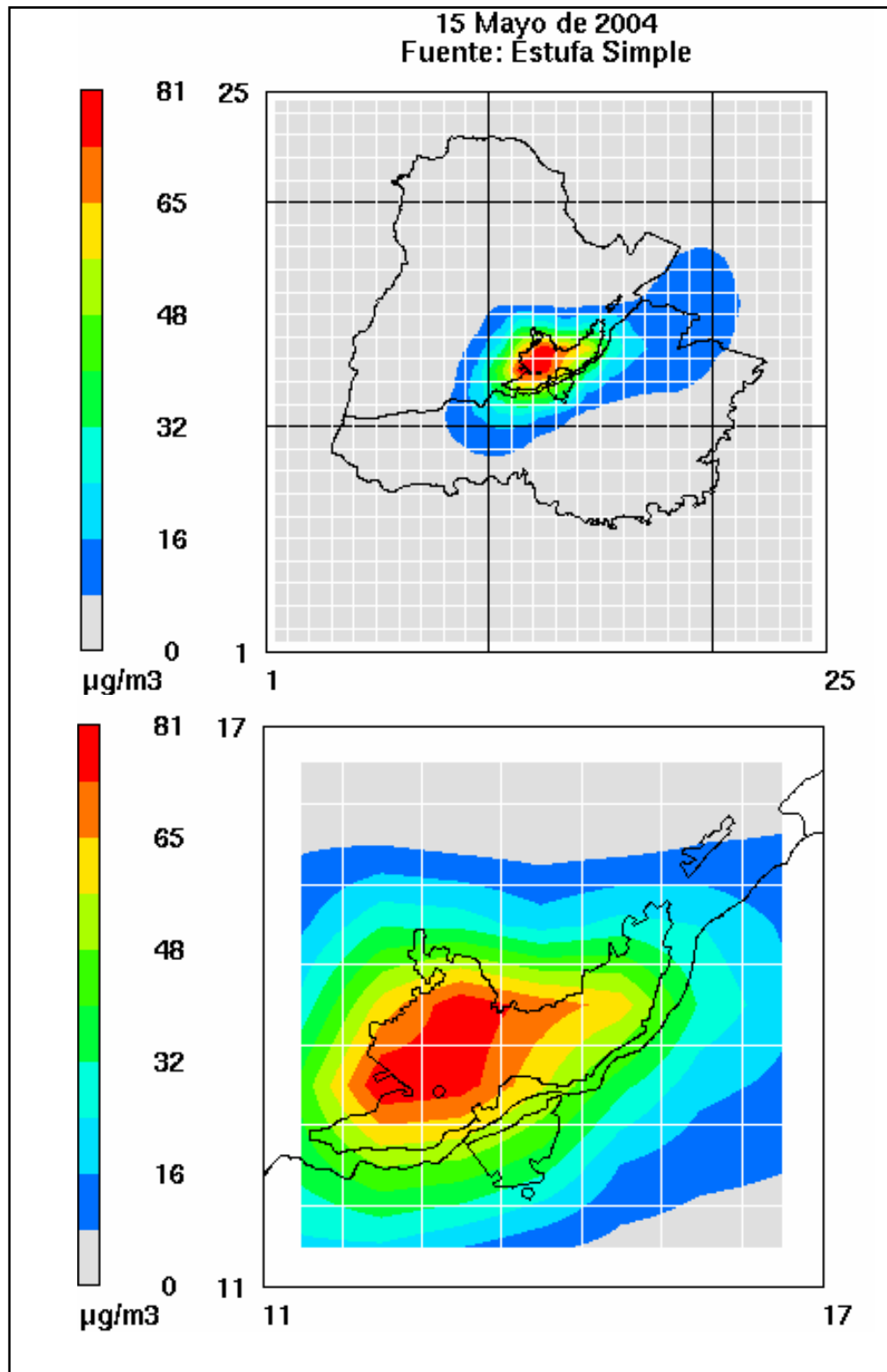


Figura 8.7 Concentración de PM10 máxima en 24 horas debido a Estufas Simples

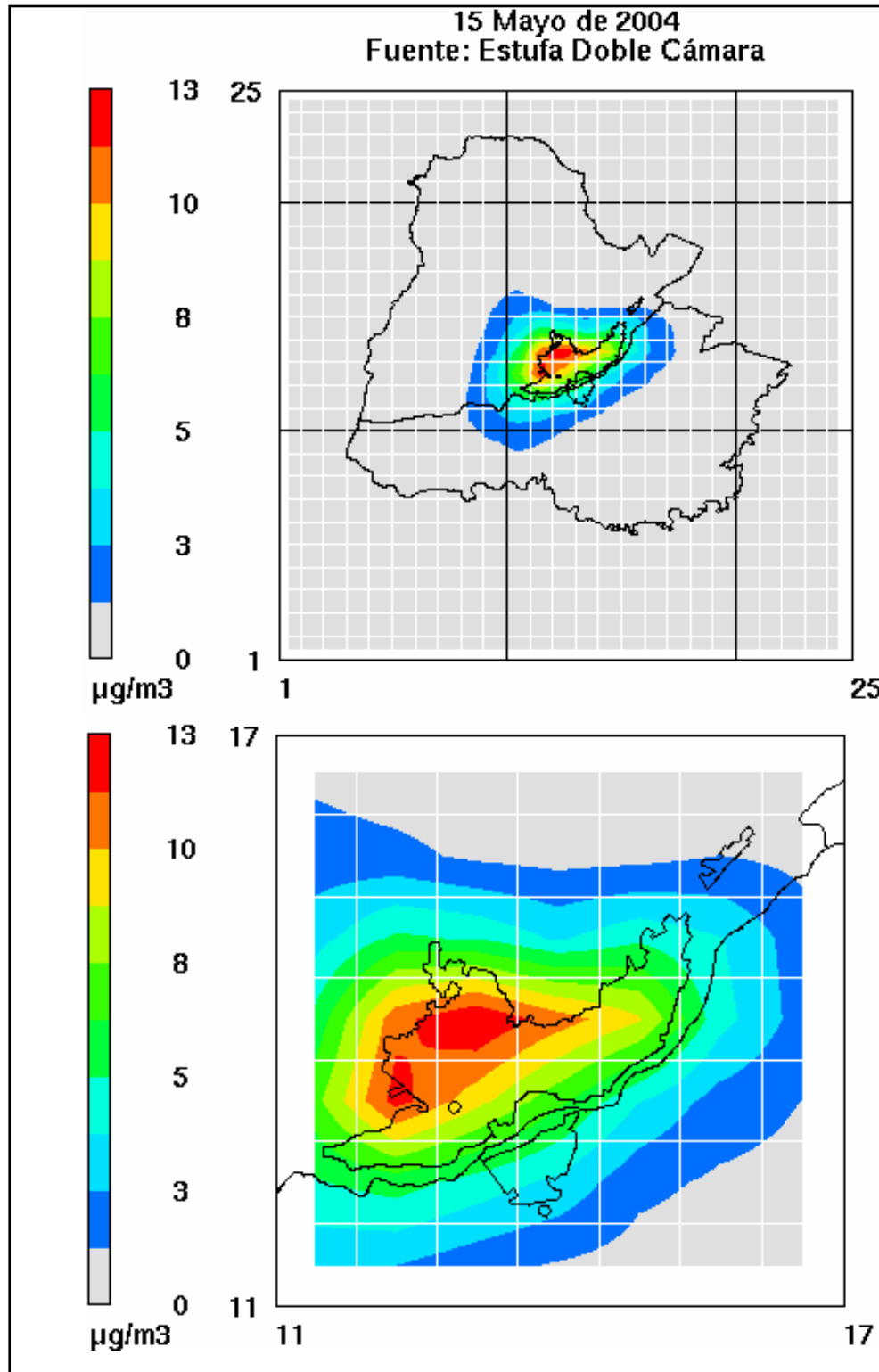


Figura 8.8 Concentración de PM10 máxima en 24 horas debido a Estufas Doble Cámara

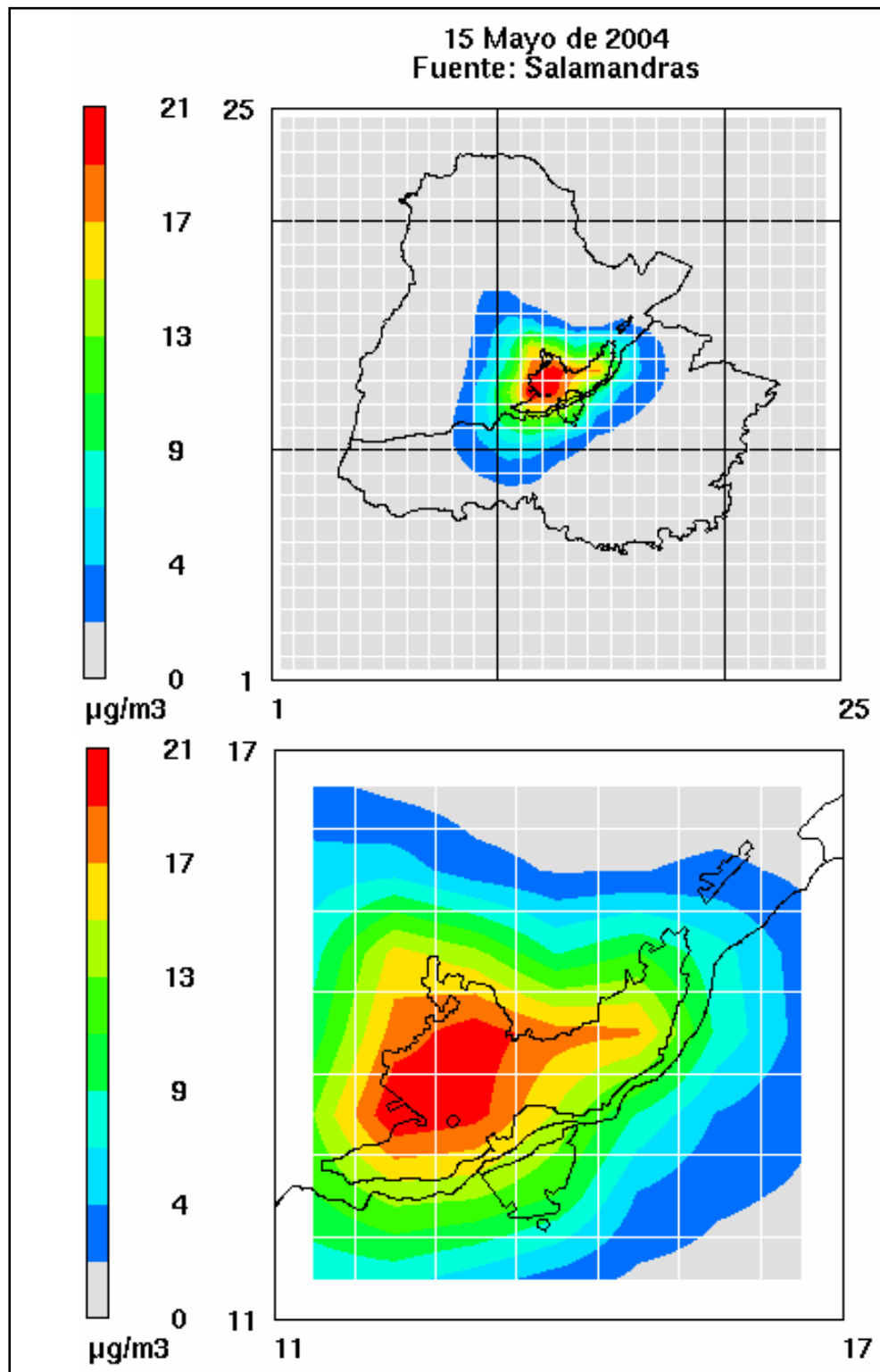


Figura 8.9 Concentración de PM10 máxima en 24 horas debido a Salamandras

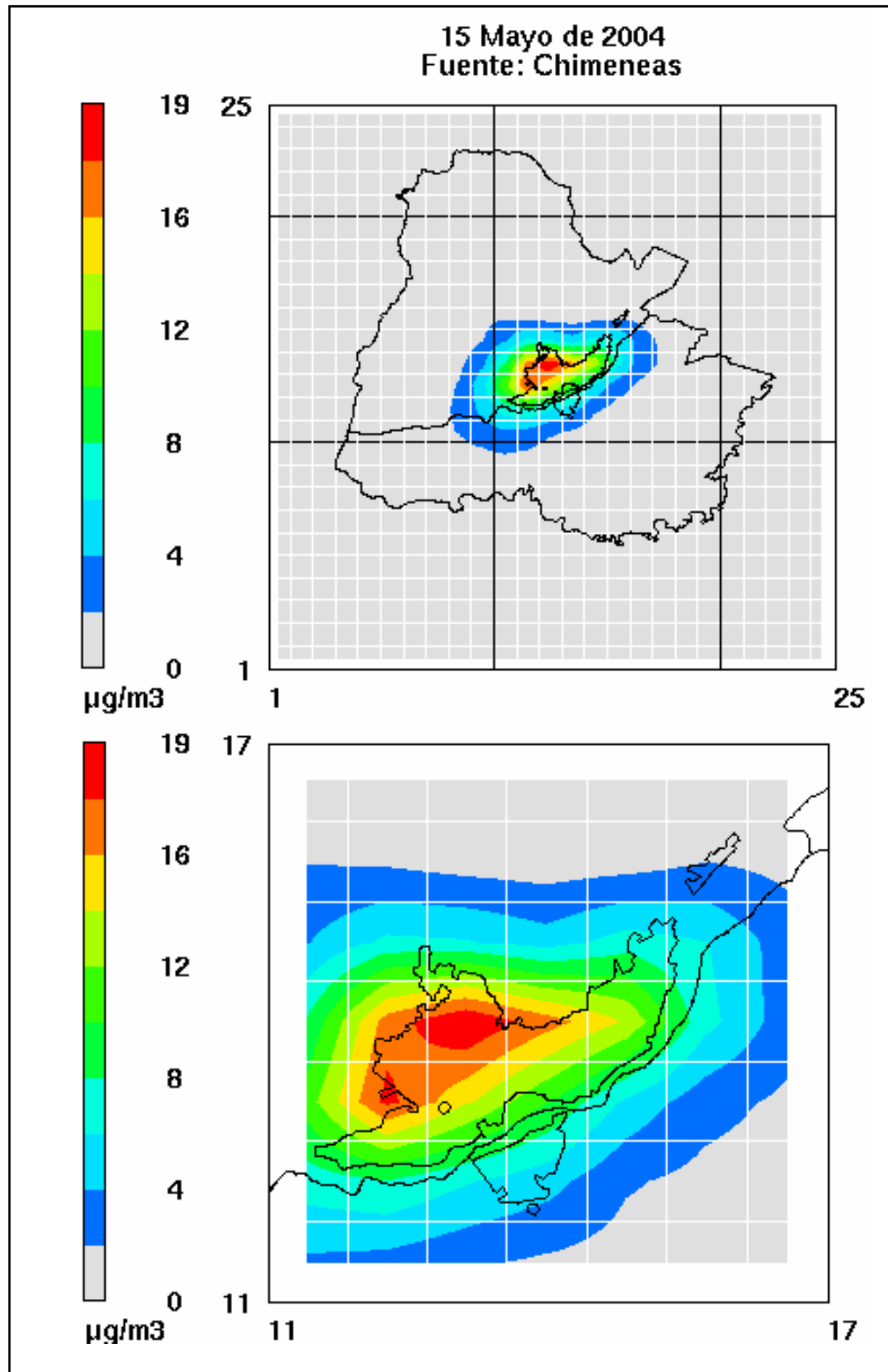


Figura 8.10 Concentración de PM10 máxima en 24 horas debido a Chimeneas

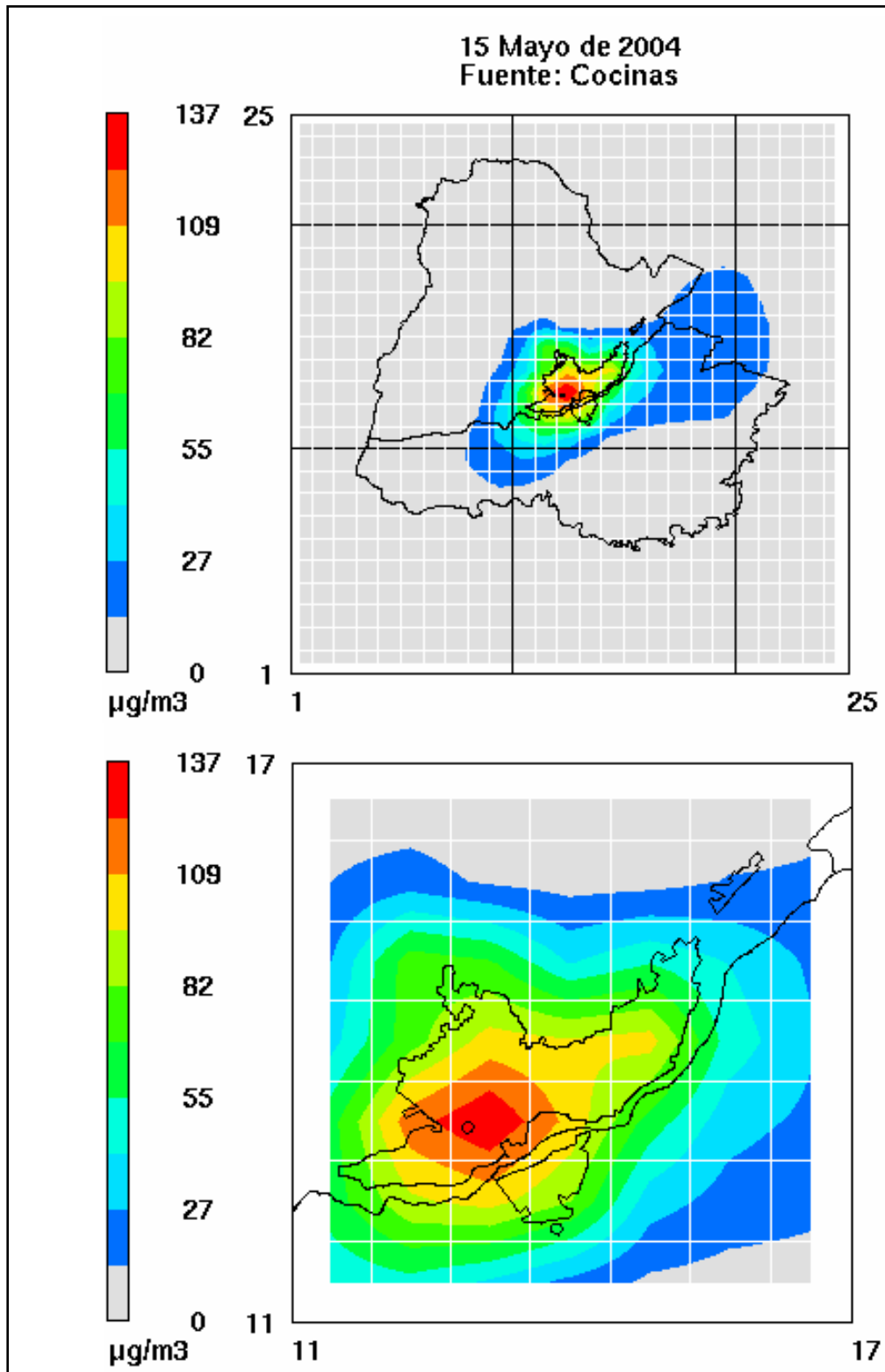


Figura 8.11 Concentración de PM10 máxima en 24 horas debido a Cocinas



IX USO DE LA MODELACIÓN PARA EVALUAR ESTRATEGIAS DE CONTROL DE EMISIONES

Debido a que los resultados de una modelación de calidad del aire son una aproximación a la realidad, la USEPA recomienda realizar test estadísticos de bondad de ajuste para evaluar el grado en que las estimaciones (predicciones) se ajustan a los datos monitoreados (ver Tabla VIII.5). Aun cuando la modelación pase el test de ajuste, las concentraciones predichas deben ser usadas en forma relativa más que absoluta, para evaluar las reducciones debidas a una estrategia de control de emisión. Para esto, se calcula la razón entre las concentraciones modeladas futuras y actuales (ver Ecuación 9.1). Esta razón, denominada Factor de Reducción Relativa (FRR), se utiliza en conjunto con el valor de diseño (percentil 98) para estimar el cumplimiento de norma para las situaciones con y sin medidas, y en cada corte temporal (ver Ecuación 9.2).

A fin de minimizar la variabilidad diaria al estimar los FRR, se recomienda utilizar el promedio de los FRR de todos los días modelados. De esta forma en este estudio se utilizó como FRR es promedio de seis días (se descuenta el primer día de modelación el cual sirve de estabilización de las ecuaciones).

$$FRR = C_{m_f}/C_{m_a} \quad \text{Ecuación (9.1)}$$

Donde:

- FRR : Factor de reducción relativa
- C_{m_f} : Concentración modelada futura (ó con medida de control)
- C_{m_a} : Concentración modelada actual (sin medida de control)

$$P98_f = P98_a * FRR \quad \text{Ecuación (9.2)}$$

Donde:

- $P98_f$: Percentil 98 futuro ó con medidas
- $P98_a$: Percentil 98 actual (año base 2004 = $172 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

Siguiendo el protocolo de la USEPA en relación al uso de modelos para demostrar cumplimiento de norma de calidad del aire en zonas declaradas saturadas, se determinaron los Factores de Reducción Relativa (FRR) para la situación sin medidas denominada BAU (Business as usual), y para cada una de las medias de control evaluadas en este estudio.

Cortes temporales de evaluación de medidas

Dado que un Plan de Descontaminación es un instrumento de largo plazo, que consiste en la implementación de medidas para reducir las emisiones en forma gradual, velando por los principios de eficiencia y gradualismo de la ley de medioambiente, para el caso de las comunas de Temuco y Padre las Casas, se han definido como año base el 2004, y con cortes temporales al 2008, 2012, y 2016.



9.1 Crecimiento sin medidas (Modelación BAU)

Para las proyecciones futuras (años 2008, 2012, y 2016), se consideraron solo las variaciones de emisiones provenientes de la combustión residencial de leña, manteniendo fijas las emisiones estimadas al 2004 para el resto de las fuentes emisoras. Lo anterior debido a que no se cuenta con información para proyectar las emisiones provenientes de quemas agrícolas, incendios forestales, fuentes móviles, industrias, y edificios. Las fuentes residenciales son las de mayor peso en el inventario de emisiones, y se dispone de una estimación de las emisiones proyectadas y su distribución espacial en ambas comunas. La Tabla IX.1 muestra la emisión anual de PM10 estimada para el año Base y las proyecciones al 2008, 2012 y 2016 utilizadas para la modelación BAU.

Tabla IX.1 Emisiones de PM10 (ton/año) por tipo de fuente y corte temporal

La	Año	Quemas Agrícolas	Incendios Forestales	Fuentes Móviles	Industrias	Edificios	Combustión Residencial
	2004						3238
	2008	130.01	30.94	54.12	237.90	21.01	3351
	2012						3525
	2016						3777

Tabla IX.2 muestra la concentración de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) predicha por el sistema MM5/SMOKE/CAMx para cada corte temporal en evaluación, el Factor de Reducción Relativo promedio, y el Percentil 98 esperado en LET al considerar la evolución normal de las emisiones. El percentil 98 al año 2004 resultó ser de 172 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y es este el valor que se utiliza con los FRR para calcular el percentil 98 futuro ó con medidas de reducción de emisiones.

Tabla IX.2 Concentraciones predichas para cada año de evaluación BAU

Días	2004	2008	2012	2016
12-may	112	109	111	115
13-may	115	111	113	116
14-may	173	171	178	184
15-may	261	260	269	280
16-may	183	182	190	198
17-may	174	168	171	175
18-may	180	177	180	186
Promedio	181	178	183	190
FRR	--	0.99	1.02	1.05
P98	172	170	175	180

La Figura 9.1 muestra gráficamente la evolución del percentil 98 esperado en Temuco al considerar la evolución de las emisiones de PM10 para la situación BAU en los años 2004, 2008, 2012, y 2016.

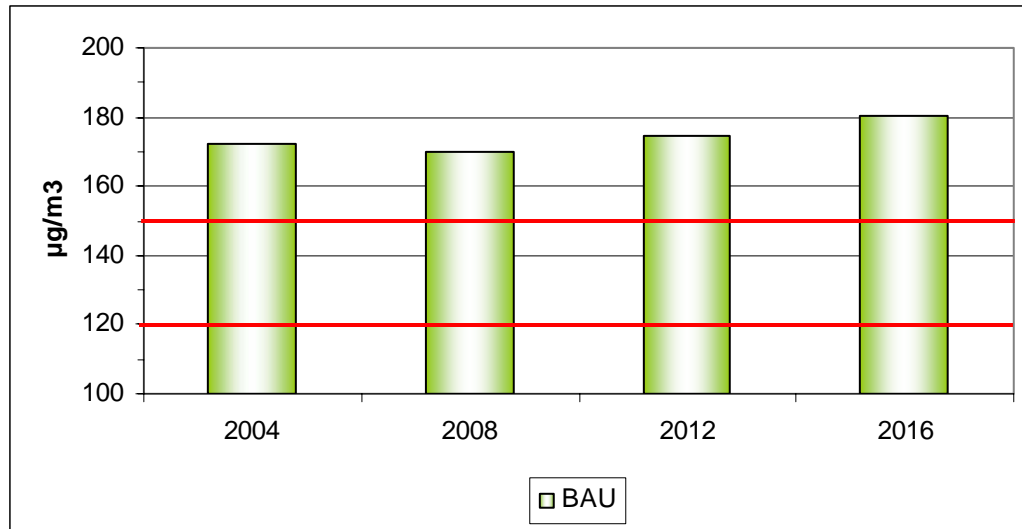


Figura 9.1 Evolución de la situación BAU por corte temporal

Aporte por fuentes al Percentil 98 para cada corte temporal

La Tabla IX.3 muestra la concentración de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en 24 horas estimada en la estación LET, como promedio de los 6 días del episodio modelados por tipo de fuente, y corte temporal. Con estas concentraciones predichas se calcularon los FRR_i por tipo de fuente y para cada año considerando el 2004 como base (ver Tabla IX.4 y Ecuación 9.1). Además se calculó el aporte de cada fuente al percentil 98 del año base como el producto del percentil 98 medido ($172 \mu\text{g}/\text{m}^3$) con el peso relativo de cada fuente al total modelado (ver Ecuación 9.3)

$$P98_i = P98_o * C_{m_i} / C_{m_t} \quad \text{Ecuación (9.3)}$$

Donde:

- $P98_i$: Percentil 98 debido a la fuente i
- $P98_o$: Percentil 98 Observado ($172 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
- C_{m_i} : Concentración modelada aportada por la fuente i
- C_{m_t} : Concentración modelada aportada por todas las fuentes

Una vez obtenido el aporte de cada fuente al percentil 98 del año base (Ecuación 9.3), se calcula el percentil 98, futuro de acuerdo a la Ecuación (9.4). Los resultados se muestran en La Tabla IX.5.

$$P98_f = \sum_{i=1}^N P98_i * \text{FRR}_i \quad \text{Ecuación (9.4)}$$

Donde:

- $P98_f$: Percentil 98 futuro ó con medidas
- FRR_i : Factor de reducción relativo debido a la fuente i
- N : Número de fuentes consideradas (10)



Tabla IX.3 Concentración de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en LET promedio de los 6 días modelados por tipo de fuente y corte temporal

Años	Edificios	Incendios	Industrias	Quemas	Vehiculos	Cocina	Salamandras	Est Simple	Est Doble	Chimenea	Total
2004	0.2	0.3	1.8	0.2	0.6	93	14	54	7	10	181
2008	0.2	0.3	1.8	0.2	0.6	77	15	64	8	12	178
2012	0.2	0.3	1.8	0.2	0.6	65	16	75	10	14	183
2016	0.2	0.3	1.8	0.2	0.6	53	18	86	12	17	190

Tabla IX.4 Factor de Reducción Relativo promedio por tipo de fuente (FRR_i) y corte temporal para la situación BAU

Años	Edificios	Incendios	Industrias	Quemas	Vehiculos	Cocina	Salamandras	Est Simple	Est Doble	Chimenea
2004	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2008	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	1.1	1.2	1.2	1.2
2012	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.7	1.2	1.4	1.5	1.5
2016	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	1.3	1.6	1.8	1.8

Tabla IX.5 Aporte al Percentil 98 por tipo de fuente y corte temporal para la situación BAU

Años	Edificios	Incendios	Industrias	Quemas	Vehiculos	Cocina	Salamandras	Est Simple	Est Doble	Chimenea	Total
2004	0.2	0.3	1.7	0.2	0.6	89	13	52	6	9	172
2008	0.2	0.3	1.7	0.2	0.6	73	14	61	8	11	170
2012	0.2	0.3	1.7	0.2	0.6	62	15	71	9	14	175
2016	0.2	0.3	1.7	0.2	0.6	51	17	82	11	17	180

La Figura 9.2 muestra el aporte al percentil 98 debido a las fuentes no residenciales, y la Figura 9.3 muestra el aporte al percentil 98 de cada fuente residencial y para cada año de evaluación. De la Figura 9.3 se observa la disminución del aporte de las cocinas a las concentraciones de PM10 a lo largo del tiempo. Esto debido a que las proyecciones del uso de combustible en cocinas muestran una tendencia al recambio de leña a gas.

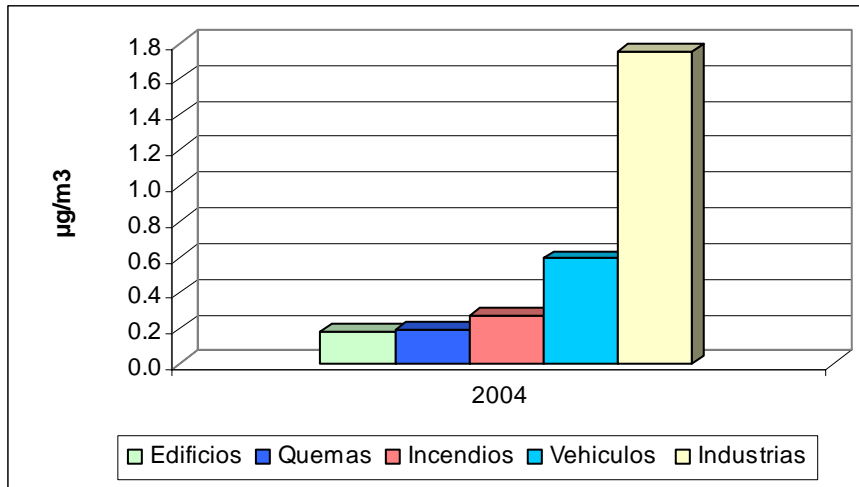


Figura 9.2: Aporte al Percentil 98 de PM10 por fuente no residencial Situación BAU

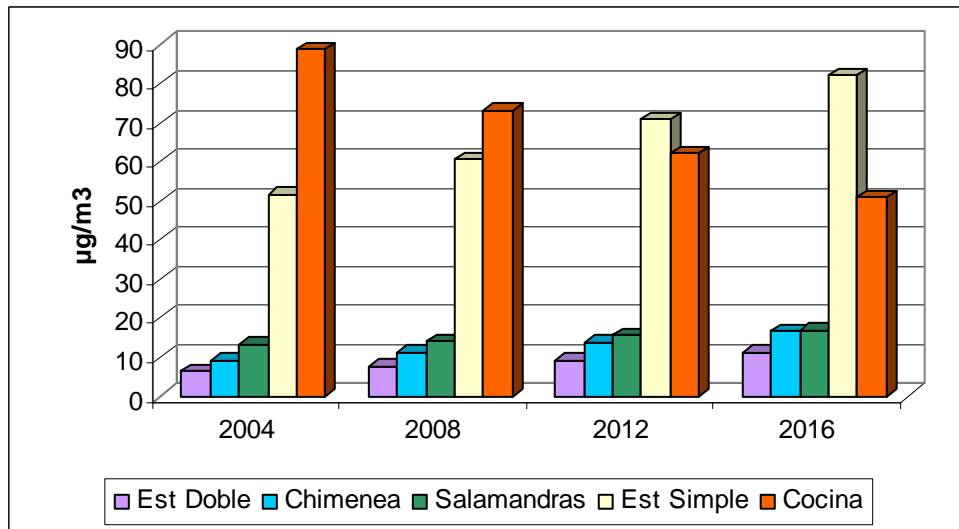


Figura 9.3: Aporte al Percentil 98 de PM10 por fuente residencial Situación BAU



9.2 Porcentaje reducción cumplimiento norma

Dado que el percentil 98 en 24 horas del año 2004 es $172 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se requerirá una reducción del 13% de las emisiones para salir de la categoría de Saturación, y una reducción del 31% de las emisiones para salir de la categoría de Latencia. Con estos valores de reducción general de las emisiones se realizaron corridas del modelo para evaluar su comportamiento en el tiempo, es decir, determinar si con estas reducciones se logra el cumplimiento de calidad del aire hasta el año 2016. La Figura 9.4 muestra el percentil 98 de PM10 en 24 horas esperado al reducir en un 13% y 31% las emisiones del año 2004, y proyectadas a los años 2008, 2012, y 2016, y su relación con las bandas de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (latencia y saturación, respectivamente).

De la Figura 9.4 se observa que la reducción del 13% y 31% sólo serviría hasta el año 2008, pues el año 2012 ya muestra una superación para ambas categorías. Esto último implica que se requieren medidas adicionales para lograr el cumplimiento de la normativa de calidad del aire en Temuco y Padre Las Casas.

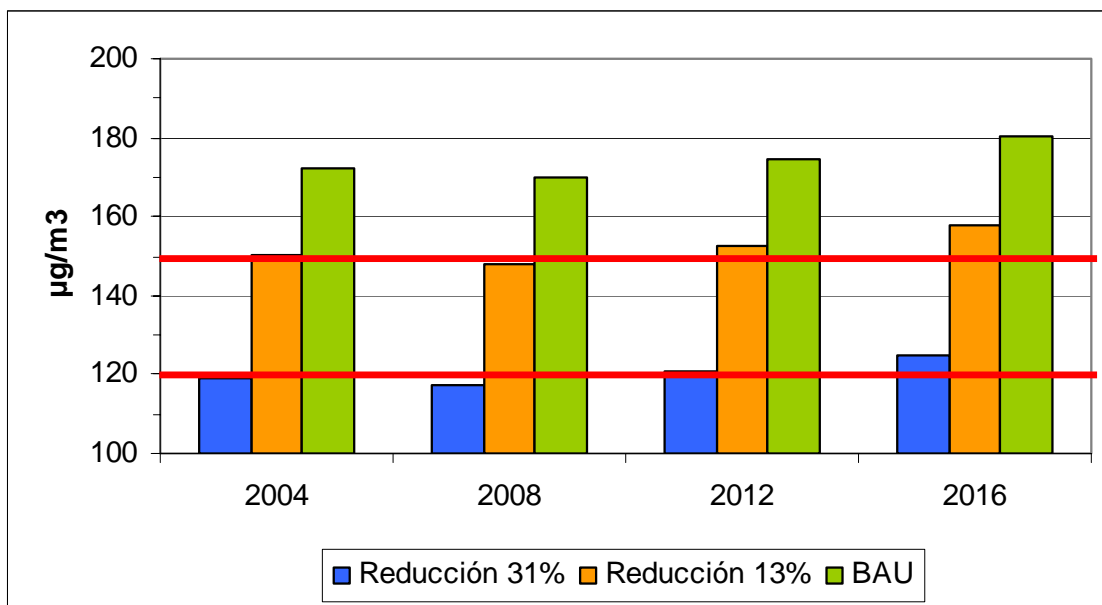


Figura 9.4: Percentil 98 considerando un 13 % y 31% de reducción de emisiones



9.3 Modelación Particulado Secundario

La estimación del material particulado secundario se realizó a través del sistema de modelación MM5/SMOKE/CAMx. Para esto se consideraron emisiones de particulado fino (PM_{2.5}) primario, y la generación de material particulado secundario a través de sus precursores tales como los SO_x y NO_x. Del total de materia particulada que se genera en la combustión residencial de leña, un 93.1% corresponde a particulado fino primario (PM_{2.5}). Para las quemas agrícolas un 82.7% del material particulado total corresponde al fino, y para las emisiones vehiculares, un 92.3%. Estos porcentajes fueron utilizados para estimar el particulado fino primario para cada fuente modelada. Para los incendios forestales se asumió igual distribución que para las quemas agrícolas. Para las Industrias se asumió el total como PM₁₀.

Los gases precursores de particulado secundario considerados en la modelación son: CO, NO_x, COV, SO_x, y NH₃. El modelo SMOKE especifica los COV, los cuales ingresan al modelo CAMx generando los siguientes compuestos secundarios: SOA (Aerosol orgánico secundario), NH₄, SO₄, y NO₃.

La Tabla IX.6 muestra las concentraciones en 24 horas de particulado secundario para cada día del episodio seleccionado.

Tabla IX.6 Concentraciones en 24 horas de Particulado Secundario

Día	Fecha	SOA		NH ₄		NO ₃		SO ₄	
		LET	PLC	LET	PLC	LET	PLC	LET	PLC
Miércoles	12/05/2004	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.2
Jueves	13/05/2004	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.2
Viernes	14/05/2004	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2	0.0	0.4	0.3
Sábado	15/05/2004	0.2	0.1	0.3	0.1	0.1	0.0	0.6	0.3
Domingo	16/05/2004	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.4	0.3
Lunes	17/05/2004	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2	0.0	0.4	0.2
Martes	18/05/2004	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.4	0.2

Se observa que los aportes de los gases al particulado secundario son despreciables ($< 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) debido a que la generación de particulado secundario a través de una fotoquímica requiere de días con alta radiación solar. La modelación se realizó en un período de invierno, con muy bajas temperaturas. Esto explica la baja producción de particulado secundario

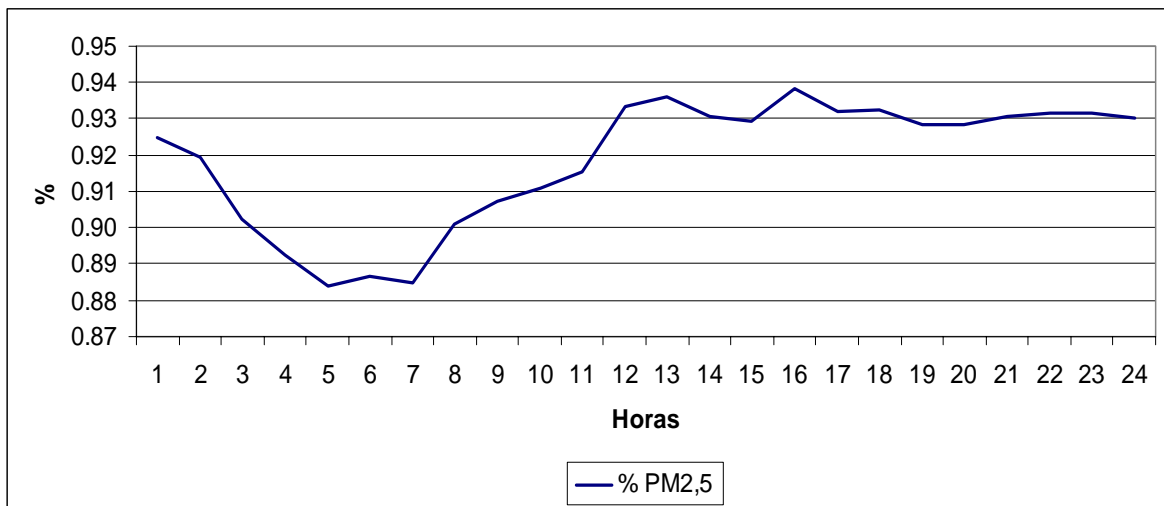
La Tabla IX.7 muestra las concentraciones promedio de PM₁₀ en 24 horas, estimadas en la estación LET, al modelar sin y con química. En dicha tabla se indica además, la fracción gruesa (PM₁₀-PM_{2.5}), y la fracción fina (PM_{2.5}). Esta última representa en promedio el 92.5% del PM₁₀ esperado en la estación LET.

Las Figuras 9.5 muestra la contribución del material particulado fino (PM_{2.5}) al PM₁₀ por hora del día. De ella se observa que en un día típico de invierno (15 de Mayo 2004) con altas concentraciones de PM₁₀, la fracción fina varía entre un 88% y 94%.

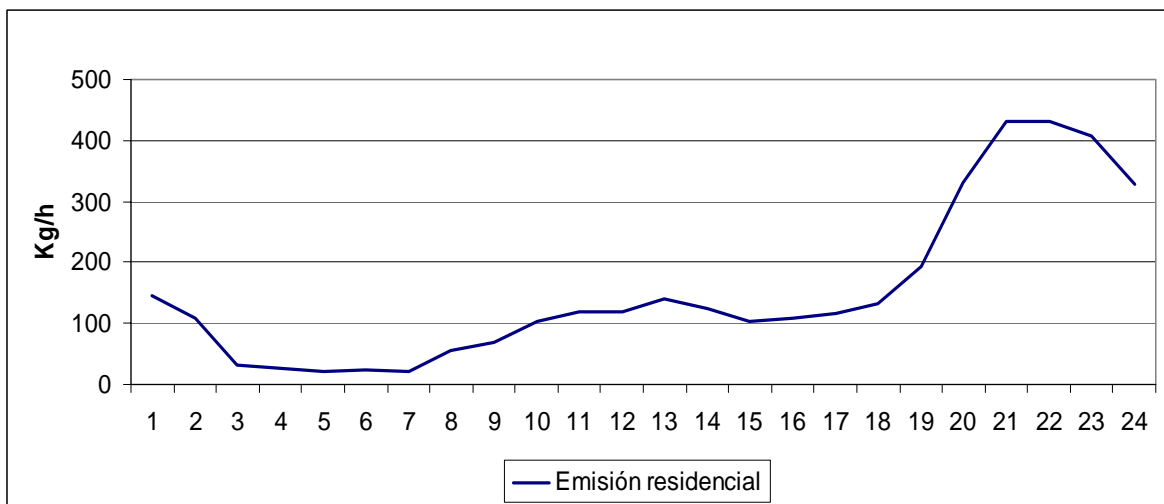


Tabla IX.7 Concentraciones de materia particulada sin y con química

PM total SIN qca	181	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM total CON qca	182	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM10 - PM2,5	14	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2,5	168	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
% (PM10 - PM2,5)	7.5	%
% (PM2,5)	92.5	%



Figuras 9.5 Contribución del material particulado fino (PM2.5) al PM10 por hora del día



Figuras 9.6 Emisión residencial de PM10 (kg/hr) para un día típico de invierno



X CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dada la declaración de zona saturada por PM10 en 24 horas de las comunas de Temuco y Padre las Casas (DS N° 35/05), se ha desarrollado este estudio para implementar un sistema de modelación de calidad del aire que permite simular estrategias de control y evaluar su impacto en las concentraciones de PM10, a través de la modelación de la dispersión y transporte de las emisiones de material particulado producido por fuentes residenciales, industriales, móviles, quemas agrícola e incendios forestales.

Para esto se actualizo y mejoró el inventario de emisiones de materia particulada para las comunas de Temuco y Padre las Casas al año 2004 y se siguió en gran medida el protocolo de USEPA para la utilización de la modelación de calidad del aire para evaluar estrategias de control y demostrar cumplimiento de normativa de calidad del aire.

El mejoramiento del inventario de emisiones consistió en incluir fuentes no consideradas en el año 2000, tales como los aportes de los edificios que cuentan con sistemas de calefacción (calderas) y en considerar distintos factores emisivos para las quemas agrícolas e incendios forestales. La actualización del inventario consistió en la inclusión de más fuentes puntuales (industrias), en la actualización de las fuentes móviles de acuerdo al último estudio de flujos y emisiones desarrollado por SECTRA en Temuco el año 2005, en la actualización de las hectáreas quemadas por incendios forestales y quemas agrícolas al año 2004 y en la actualización de las emisiones residenciales producto de la combustión de leña.

De la comparación de los inventarios (2000 y 2004) se desprende que el incremento más importante es con respecto a las fuentes areales, producto de la actualización de la combustión residencial de leña desde 2281.48 toneladas de PM10 el 2001, a 3238.29 toneladas de PM10 el año 2004, lo que equivale a un incremento de 83% a un 87% de las emisiones estimadas para el año 2004, sin considerar las emisiones fugitivas

Se seleccionó un área de modelación que abarcó más allá de las comunas de Temuco y Padre las Casas, a fin de minimizar los efectos de las condiciones iniciales y de borde. Es así como se seleccionó un dominio horizontal de 50x50 Kms, con grillas de 2x2 kms, y 8 capas verticales.

Se procesaron las bases de concentraciones de PM10 registradas en la estación Las Encinas (LET) para los años 2002, 2003, y 2004, y para la estación Padre las Casas (PLC) para los años 2003 y 2004. De este análisis se obtuvieron los periodos episódicos, definidos como aquellos en que las concentraciones de PM10 en 24 horas superaban el valor $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (latencia) para dos o más días consecutivos. Todos los periodos seleccionados fueron analizados desde el punto de vista meteorológico estudiando sus parámetros de superficie y altura, encontrándose similitud asociada a la presencia de sistemas de altas presiones en altura, con vaguada costera, reforzando inversiones térmicas y vientos débiles. En superficie se observa una característica común relacionada con la baja temperatura promedio y vientos promedios débiles para los días de alta concentración de PM10.



El patrón general que se repite a través de los días episódicos se caracteriza por concentraciones de PM₁₀, que se incrementan inmediatamente después de la puesta del sol, con la rápida formación de una inversión térmica superficial, un peak de concentraciones de PM₁₀ en la noche, que alcanza su máximo entre las 21:00 y medianoche, y luego decae gradualmente, con un peak secundario durante la mañana. Las concentraciones más bajas se presentan alrededor de las 7:00 y 17:00 horas donde prevalecen las condiciones convectivas.

Se seleccionaron dos periodos episódicos. El primero de ellos corresponde al periodo comprendido entre el 13 y el 18 de Mayo del 2004 y el segundo del 31 de Mayo al 02 de Abril del 2003. Como ejercicio de aplicación del sistema de modelación implementado se utilizó el Episodio 1 para evaluar algunas medidas de reducción de emisiones.

Las series de tiempo de las variables temperatura y velocidad del viento, observadas y modeladas presentan un buen ajuste, es decir, el modelo MM5 fue capaz de simular el comportamiento horario de estas variables, lo cual queda demostrado a través de los estadígrafos de bondad de ajuste, con un índice de ajuste de 0.63 y 0.89 para la temperatura y viento, respectivamente.

Con las bases de meteorología y emisiones, se realizaron las corridas de los modelos CALPUFF y CAMx. Los resultados se compararon con los datos de PM₁₀ monitoreados en las estaciones de Las Encinas (LET) y Padre Las Casas (PLC) y se evaluó el ajuste de la modelación. La evaluación se realizó siguiendo la guía para modelación de MP de la USEPA (2001). De esta forma, se construyeron gráficos de series temporales y se calculó la métrica de error normalizado, obtenido entre los valores medidos y las predicciones de ambos modelos. De esta evaluación se encontró que el sistema CALPUFF subestima y sobreestima las concentraciones de PM₁₀ en forma errática, no logrando ajustarse al perfil horario de concentraciones registradas en dichas estaciones, sin embargo, el sistema CAMx logró reproducir de mejor forma el perfil horario de PM₁₀ en ambas estaciones. Esto último permitió optar por la implementación del sistema CAMx quien logró un mejor desempeño.

Con el modelo CAMx se evaluó el aporte de cada grupo de fuentes a las concentraciones de PM₁₀ para el período del 12 al 18 de Mayo del 2004. Los aportes de PM₁₀ esperados en las estaciones Las Encinas y Padre Las Casas, indican que las fuentes Residenciales contribuyen sobre el 98% de las concentraciones registradas en ambas estaciones, siendo las cocinas responsables del aporte de 52% en LET y 58% en PLC.

Para el caso de las fuentes no residenciales, las industrias son las que más aportan, con un 1% y 1.3%, para LET y PLC, respectivamente. La contribución de las quemas agrícolas, incendios forestales, edificios, y los vehículos no se refleja en las estaciones monitoras, siendo su contribución más bien local.

De la modelación se desprende que el máximo global (debido a todas las fuentes), ocurre en la celda en que se localiza la estación LET, pero individualmente los máximos ocurren en puntos distintos variando según la fuente. Los aportes máximos por fuentes no residenciales resultaron de 1, 5, 3, 4, y 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para los Edificios, Incendios Forestales, Industrias, Quemadas Agrícolas, y vehículos, respectivamente. Para las fuentes residenciales, las máximas contribuciones de PM₁₀ en 24 horas resultaron de 137, 21, 81, 13, y 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para las Cocinas, Salamandras, Estufas simples, Estufas doble cámara, y Chimeneas, respectivamente.



Los resultados de la modelación se utilizaron para calcular el percentil 98 esperado en la estación LET, siguiendo el protocolo del a USEPA. Para esto se calcularon los Factores de Reducción Relativo (FRR), y con ellos se determinaron, para el caso base (BAU), y con medidas de control de emisiones, el percentil 98 esperado para cada año de evaluación (2004, 2008, 2012, 2016).

Para el caso base (BAU), se estimó un percentil 98 de 170, 175, y 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años 2008, 2012, y 2016, respectivamente. Esto indica que de no tomar medidas tendientes a la reducción de emisiones, se espera un leve incremento en las concentraciones de PM10 en 24 horas, manteniéndose la condición de saturación para las comunas de Temuco y Padre las Casas.

Al analizar los aportes al percentil 98 por grupo de fuentes, se observó que las cocinas, que al año 2004, representaban el mayor aporte, va paulatinamente perdiendo peso relativo, para dejar a las estufas simples, la supremacía, a partir del año 2012. Esto se debe a que las proyecciones del uso de combustible en cocinas muestran una tendencia al recambio de leña a gas.

Dado que el percentil 98 en 24 horas del año 2004 es 172 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, se requerirá una reducción del 13% de las emisiones para salir de la categoría de Saturación, y una reducción del 31% de las emisiones para salir de la categoría de Latencia.

Con estos valores de reducción general de las emisiones se realizaron corridas del modelo para evaluar su comportamiento en el tiempo, es decir, determinar si con estas reducciones se logra el cumplimiento de calidad del aire hasta el año 2016. Los resultados indican que la reducción del 13% y 31% sólo serviría hasta el año 2008, pues el año 2012 ya muestra una superación para ambas categorías. Esto último implica que se requieren medidas adicionales para lograr el cumplimiento de la normativa de calidad del aire en Temuco y Padre Las Casas.

A modo de ejercicio y con el objetivo didáctico de presentar las bondades del sistema de modelación implementado, se definieron un conjunto de 15 medidas de reducción de emisiones de materia particulada, dirigidas principalmente a las fuentes de combustión residencial. Dentro de este conjunto destacan medidas restrictivas en el uso de artefactos, medidas que suponen mejoras tecnológicas, mejoras en el combustible, y combinaciones de ellas (Ver Anexo C). Todas estas medidas se evaluaron para todos los años considerados en la evaluación. Las medias básicas fueron: Prohibición Chimenea y Salamandra, Mejora tecnológica para Estufas, Restricción leña húmeda, y Mejora tecnológica en Cocinas. Las 11 medias restantes fueron combinaciones de las básicas.

Al realizar el cálculo del potencial de reducción de cada media (Ver Anexo D), se encontró que de las medidas básica, la M2 (mejora tecnológica para las estufas) es la que produce, en forma individual, la mayor reducción de emisiones de PM10, entre un 22.6% el 2004 y un 33.3% al final del período (2016), mientras que la medida M4 (mejora tecnológica en cocinas), es la menos efectiva, siendo su potencial de reducción de un 16.5% el 2004 a un 10.0% el 2016. Además, la medida M2 produce una disminución de las emisiones en el tiempo, mientras que con M4 las emisiones se incrementan en el tiempo. Esto último se debe a que el número de cocinas a leña decrece en el tiempo por recambio de este tipo de artefacto, según se desprende de la información inter censal.

Al considerar dos medidas simultáneamente, se desprende que la medida M5 (prohibición de artefactos de hogar abierto y la mejora tecnológica para estufas), produce una mayor



reducción de emisiones, entre un 34.8% a un 50.5%, al principio y al final del período de evaluación, respectivamente. La medida menos eficiente es la que considera la prohibición de chimeneas y salamandras, y la mejora tecnológica en cocina, logrando reducciones de entre un 28.7% a un 27.2% para el 2004 y 2016, respectivamente.

Considerando una combinación de tres medidas simultáneamente, se desprende que la medida M12 (prohibición de artefactos de hogar abierto y mejora tecnológica para estufas y cocinas), contiene el mayor potencial de reducción de emisiones, con un 51.3% el 2004 y un 60.5% al 2016.

La modelación del particulado secundario arrojó valores muy bajos como aporte de los óxidos de azufre, compuestos orgánicos volátiles, y óxidos de nitrógeno. Las máximas concentraciones en 24 horas de sulfatos y nitratos (particulado fino secundario), resultaron ser menores que $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos bajos aportes se deben básicamente a que la generación de particulado secundario a través de una fotoquímica requiere de días con alta radiación solar. La modelación se realizó en un período de invierno, con muy bajas temperaturas.

No obstante el aporte despreciable en períodos de invierno a la formación de particulado secundario a través de una fotoquímica, el PM10 en Temuco y Padre Las Casas contiene un alto porcentaje de particulado fino. Esto último debido a que las emisiones residenciales aportan sobre el 93% de particulado primario fino ($< 2.5 \mu\text{m}$).

Recomendaciones

Aún cuando este estudio aporta antecedentes para la toma de decisiones en relación al porcentaje de reducción requerido para salir de la categoría de saturación de las comunas de Temuco y Padre las Casas, quedan algunas aristas que, de ser posible, deberían considerarse a fin de disminuir algunas incertidumbres, que por falta de información, debieron ser asumidas en este estudio.

Dado que la principal fuente emisora de materia particulada es la combustión residencial utilizando leña para calefacción y cocina, se deberían realizar mediciones para estimar la emisión de estufas, chimeneas, salamandras, y cocinas en los hogares en Temuco y Padre las Casas, y reducir así la incertidumbre de utilizar factores de emisión extranjeros.

Sería recomendable realizar una nueva encuesta de consumo de leña que actualice los valores registrados por el estudio de VITAE el 2001 [1], y que incorpore nuevas preguntas orientadas a caracterizar más efectivamente el consumo de leña en Temuco y Padre las Casas.

Por otro lado, aún cuando la fotoquímica no resultó ser un aporte significativo a las concentraciones de PM10 en período invernal, se debería realizar modelaciones fotoquímicas en verano para ver el aporte del PM2.5 al PM10. Aún cuando el problema en Temuco y Padre las Casas se encuentra focalizado en período otoño-invierno, el estimar los aportes en primavera-verano darían luces respecto a otras fuentes no consideradas en este estudio (por ejemplo: emisiones biogénicas como precursor de materia particulada secundaria).



XI. REFERENCIAS

- [1] VITAE, "Encuesta del uso de la leña en Temuco y Padre las Casas." CONAMA IX 2001.
- [2] CENMA, "Mediciones meteorológicas y de calidad de aire en Temuco y Rancagua para la obtención de antecedentes técnico científico para la generación de la norma de calidad primaria para material particulado fino MP2.5", 2001
- [3] CONAMA IX, "Diseño de escenarios para apoyar la gestión del aire en Temuco y Padre las Casas", 2004
- [4] CONAMA, "Inventarios de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos en la Regiones V, VI y IX de Chile", CENMA-CONAMA, 2000
- [5] SECTRA, "Investigación de instrumentos de planificación ambiental para ciudades intermedias, etapa II", Suroeste consultores, 2005.
- [6] Dennis Ann, et al. "Air pollutant emissions associated with forest grassland, and agricultural burning in Texas". Atmos Environ. 2002: 36 3779-92.
- [7] ENVIRONMENT CANTERBURY, "2002 Christchurch Inventory of emissions to air", Report No R04/03. 2004.
- [8] USEPA, "Guidance for demonstrating attainment of air quality goals for PM2.5 and regional haze", 2001
- [9] CONAF Unidad de Gestión y manejo del fuego. Base de datos de Quemadas agrícolas e Incendios Forestales. 2005.



ANEXOS

ESTUDIO: IDENTIFICACIÓN DE UNA RELACIÓN ENTRE LAS EMISIONES DE FUENTES DE MATERIAL PARTICULADO Y LAS CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE EN LAS COMUNAS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS

Preparado para: CONAMA Región de la Araucanía

- A: Información utilizada en el estudio
- B: Sistematización de los episodios con concentraciones mayores a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- C: Ejercicio de aplicación del modelo para evaluar medidas de reducción de emisiones
- D: Cálculo del potencial de reducción de emisiones según medida

Diciembre 2005



ANEXO A

INFORMACIÓN UTILIZADA EN EL ESTUDIO

**A.- INFORMACION UTILIZADA EN EL ESTUDIO**

INFORMACIÓN	FUENTE O REFERENCIA	AÑO
Registro Meteorológico estaciones LET y PLC	CONAMA IX	2000-2004
Monitoreo de Calidad del Aire estaciones LET y PLC	CONAMA IX	2000-2004
Inventario de Emisiones Temuco y Padre las Casas	CENMA CONAMA	2000
Emisión de Fuentes móviles. Se utiliza el Estudio: "Investigación de instrumentos de planificación ambiental para ciudades intermedias, Etapa II", y se completa el Inventario estimando la emisión de PM10 para lo vehículos livianos (que no fue considerada en el estudio de SECTRA)	SECTRA Suroeste Consultores	2005
Inventario de emisión de Fuentes Industriales. Se complementa agregando fuentes no consideradas en el Inventario de CENMA, y georreferenciandolas.	CONAMA IX CENMA	2000
Georreferenciación de Edificios. Se estimaron las emisiones de materia particulada utilizando factores de emisión de fuentes industriales, ajustados según el tipo de combustible utilizado	CONAMA IX	2004
Datos de reanálisis y radiosondeos de la estación de altura en Puerto Montt utilizaods por MM5 y CALMET	Universidad de Wyoming	2004
Base de datos de Quemas agrícolas e Incendios Forestales en formatos Excel y Shape	CONAF Unidad de Gestión y manejo del fuego	2003 al 2005
Factores de emisión para quemas agrícolas e incendios forestales	AP-42 Referencia [6]	2003
Uso de suelo formato shape	CONAMA SINIA	2005



ANEXO B

SISTEMATIZACIÓN DE LOS EPISODIOS CON CONCENTRACIONES MAYORES A $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Tabla B.1 Episodio1 de Concentración de PM10 $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrado el año 2001 en la estación Las Encinas

Fecha	[] horaria de PM10	[] de PM10 24 horas	Duración en horas	Máxima [] 24 horas
15/04/2001 0:00	559	132		
15/04/2001 1:00	646			
15/04/2001 2:00	420			
15/04/2001 3:00	351			
15/04/2001 4:00	68			
15/04/2001 5:00	1			
15/04/2001 6:00	1			
15/04/2001 7:00	1			
15/04/2001 8:00	1			
15/04/2001 9:00	30			
15/04/2001 10:00	75			
15/04/2001 11:00	143			
15/04/2001 12:00	30			
15/04/2001 13:00	49			
15/04/2001 14:00	27			
15/04/2001 15:00	-			
15/04/2001 16:00	8			
15/04/2001 17:00	53			
15/04/2001 18:00	41			
15/04/2001 19:00	24			
15/04/2001 20:00	65			
15/04/2001 21:00	81			
15/04/2001 22:00	75			
15/04/2001 23:00	283			
16/04/2001 0:00	84	202	72	202
16/04/2001 1:00	110			
16/04/2001 2:00	180			
16/04/2001 3:00	4			
16/04/2001 4:00	1			
16/04/2001 5:00	1			
16/04/2001 6:00	1			
16/04/2001 7:00	1			
16/04/2001 8:00	3			
16/04/2001 9:00	53			
16/04/2001 10:00	89			
16/04/2001 11:00	123			
16/04/2001 12:00	164			
16/04/2001 13:00	41			
16/04/2001 14:00	130			
16/04/2001 15:00	105			
16/04/2001 16:00	123			
16/04/2001 17:00	102			
16/04/2001 18:00	60			
16/04/2001 19:00	388			
16/04/2001 20:00	865			
16/04/2001 21:00	662			
16/04/2001 22:00	1125			
16/04/2001 23:00	438			
17/04/2001 0:00	324	174		
17/04/2001 1:00	267			
17/04/2001 2:00	65			
17/04/2001 3:00	64			
17/04/2001 4:00	38			
17/04/2001 5:00	39			
17/04/2001 6:00	17			
17/04/2001 7:00	-			
17/04/2001 8:00	74			
17/04/2001 9:00	250			
17/04/2001 10:00	530			
17/04/2001 11:00	149			
17/04/2001 12:00	105			
17/04/2001 13:00	36			
17/04/2001 14:00	30			
17/04/2001 15:00	32			
17/04/2001 16:00	-			
17/04/2001 17:00	89			
17/04/2001 18:00	246			
17/04/2001 19:00	184			
17/04/2001 20:00	422			
17/04/2001 21:00	416			
17/04/2001 22:00	251			
17/04/2001 23:00	207			



Tabla B.2 Episodio2 de Concentración de PM10 $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrado el año 2001 en la estación Las Encinas

Fecha	[] horaria de PM10	[] de PM10 24 horas	Duración en horas	Máxima [] 24 horas
17/06/2001 0:00	148	124		
17/06/2001 1:00	19			
17/06/2001 2:00	5			
17/06/2001 3:00	23			
17/06/2001 4:00	3			
17/06/2001 5:00	4			
17/06/2001 6:00	11			
17/06/2001 7:00	36			
17/06/2001 8:00	39			
17/06/2001 9:00	72			
17/06/2001 10:00	197			
17/06/2001 11:00	138			
17/06/2001 12:00	135			
17/06/2001 13:00	60			
17/06/2001 14:00	11			
17/06/2001 15:00	19			
17/06/2001 16:00	28			
17/06/2001 17:00	26			
17/06/2001 18:00	79			
17/06/2001 19:00	147			
17/06/2001 20:00	78			
17/06/2001 21:00	484			
17/06/2001 22:00	511			
17/06/2001 23:00	693			
18/06/2001 0:00	251	188	120	231
18/06/2001 1:00	158			
18/06/2001 2:00	171			
18/06/2001 3:00	50			
18/06/2001 4:00	80			
18/06/2001 5:00	9			
18/06/2001 6:00	1			
18/06/2001 7:00	22			
18/06/2001 8:00	53			
18/06/2001 9:00	164			
18/06/2001 10:00	315			
18/06/2001 11:00	330			
18/06/2001 12:00	274			
18/06/2001 13:00	72			
18/06/2001 14:00	18			
18/06/2001 15:00	3			
18/06/2001 16:00	15			
18/06/2001 17:00	41			
18/06/2001 18:00	141			
18/06/2001 19:00	227			
18/06/2001 20:00	659			
18/06/2001 21:00	527			
18/06/2001 22:00	333			
18/06/2001 23:00	595			
19/06/2001 0:00	602	214		
19/06/2001 1:00	345			
19/06/2001 2:00	57			
19/06/2001 3:00	22			
19/06/2001 4:00	16			
19/06/2001 5:00	2			
19/06/2001 6:00	12			
19/06/2001 7:00	21			
19/06/2001 8:00	41			
19/06/2001 9:00	89			
19/06/2001 10:00	133			
19/06/2001 11:00	184			
19/06/2001 12:00	161			
19/06/2001 13:00	141			
19/06/2001 14:00	132			
19/06/2001 15:00	58			
19/06/2001 16:00	53			
19/06/2001 17:00	41			
19/06/2001 18:00	119			
19/06/2001 19:00	427			
19/06/2001 20:00	500			
19/06/2001 21:00	728			
19/06/2001 22:00	818			
19/06/2001 23:00	427			



Tabla B.3 Continuación Episodio2 año 2001 estación Las Encinas

Fecha	[] horaria de PM10	[] de PM10 24 horas	Duración en horas	Máxima [] 24 horas
20/06/2001 0:00	262	133	120	231
20/06/2001 1:00	249			
20/06/2001 2:00	112			
20/06/2001 3:00	36			
20/06/2001 4:00	34			
20/06/2001 5:00	65			
20/06/2001 6:00	40			
20/06/2001 7:00	5			
20/06/2001 8:00	13			
20/06/2001 9:00	276			
20/06/2001 10:00	242			
20/06/2001 11:00	56			
20/06/2001 12:00	1			
20/06/2001 13:00	3			
20/06/2001 14:00	8			
20/06/2001 15:00	16			
20/06/2001 16:00	44			
20/06/2001 17:00	4			
20/06/2001 18:00	81			
20/06/2001 19:00	277			
20/06/2001 20:00	269			
20/06/2001 21:00	233			
20/06/2001 22:00	485			
20/06/2001 23:00	378			
21/06/2001 0:00	346	231	120	231
21/06/2001 1:00	386			
21/06/2001 2:00	72			
21/06/2001 3:00	68			
21/06/2001 4:00	53			
21/06/2001 5:00	38			
21/06/2001 6:00	83			
21/06/2001 7:00	23			
21/06/2001 8:00	29			
21/06/2001 9:00	142			
21/06/2001 10:00	363			
21/06/2001 11:00	241			
21/06/2001 12:00	3			
21/06/2001 13:00	1			
21/06/2001 14:00	1			
21/06/2001 15:00	1			
21/06/2001 16:00	12			
21/06/2001 17:00	10			
21/06/2001 18:00	94			
21/06/2001 19:00	255			
21/06/2001 20:00	561			
21/06/2001 21:00	1067			
21/06/2001 22:00	884			
21/06/2001 23:00	800			



Tabla B.4 Episodio1 de Concentración de PM10 $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrado el año 2002 en la estación Las Encinas

Fecha	[] horaria de PM10	[] de PM10 24 horas	Duración en horas	Máxima [] 24 horas
12/06/2002 0:00	95	165		
12/06/2002 1:00	51			
12/06/2002 2:00	90			
12/06/2002 3:00	207			
12/06/2002 4:00	116			
12/06/2002 5:00	39			
12/06/2002 6:00	79			
12/06/2002 7:00	36			
12/06/2002 8:00	75			
12/06/2002 9:00	240			
12/06/2002 10:00	214			
12/06/2002 11:00	14			
12/06/2002 12:00	1			
12/06/2002 13:00	6			
12/06/2002 14:00	9			
12/06/2002 15:00	18			
12/06/2002 16:00	21			
12/06/2002 17:00	48			
12/06/2002 18:00	170			
12/06/2002 19:00	266			
12/06/2002 20:00	277			
12/06/2002 21:00	754			
12/06/2002 22:00	570			
12/06/2002 23:00	556			
13/06/2002 0:00	643	264	72	264
13/06/2002 1:00	384			
13/06/2002 2:00	235			
13/06/2002 3:00	196			
13/06/2002 4:00	94			
13/06/2002 5:00	80			
13/06/2002 6:00	1			
13/06/2002 7:00	6			
13/06/2002 8:00	79			
13/06/2002 9:00	223			
13/06/2002 10:00	553			
13/06/2002 11:00	334			
13/06/2002 12:00	75			
13/06/2002 13:00	46			
13/06/2002 14:00	-			
13/06/2002 15:00	-			
13/06/2002 16:00	14			
13/06/2002 17:00	5			
13/06/2002 18:00	118			
13/06/2002 19:00	180			
13/06/2002 20:00	434			
13/06/2002 21:00	505			
13/06/2002 22:00	723			
13/06/2002 23:00	869			
14/06/2002 0:00	944	212		
14/06/2002 1:00	506			
14/06/2002 2:00	159			
14/06/2002 3:00	66			
14/06/2002 4:00	1			
14/06/2002 5:00	1			
14/06/2002 6:00	8			
14/06/2002 7:00	43			
14/06/2002 8:00	62			
14/06/2002 9:00	168			
14/06/2002 10:00	319			
14/06/2002 11:00	444			
14/06/2002 12:00	321			
14/06/2002 13:00	17			
14/06/2002 14:00	17			
14/06/2002 15:00	-			
14/06/2002 16:00	3			
14/06/2002 17:00	17			
14/06/2002 18:00	145			
14/06/2002 19:00	246			
14/06/2002 20:00	485			
14/06/2002 21:00	154			
14/06/2002 22:00	427			
14/06/2002 23:00	332			



Tabla B.5 Episodio2 de Concentración de PM10 $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrados el año 2002 en la estación Las Encinas

Fecha	[] horaria de PM10	[] de PM10 24 horas	Duración en horas	Máxima [] 24 horas
21/06/2002 0:00	119	137		
21/06/2002 1:00	228			
21/06/2002 2:00	131			
21/06/2002 3:00	79			
21/06/2002 4:00	63			
21/06/2002 5:00	61			
21/06/2002 6:00	62			
21/06/2002 7:00	30			
21/06/2002 8:00	54			
21/06/2002 9:00	165			
21/06/2002 10:00	201			
21/06/2002 11:00	123			
21/06/2002 12:00	23			
21/06/2002 13:00	57			
21/06/2002 14:00	13			
21/06/2002 15:00	-			
21/06/2002 16:00	45			
21/06/2002 17:00	95			
21/06/2002 18:00	205			
21/06/2002 19:00	258			
21/06/2002 20:00	362			
21/06/2002 21:00	408			
21/06/2002 22:00	169			
21/06/2002 23:00	197			
22/06/2002 0:00	154	122	72	160
22/06/2002 1:00	69			
22/06/2002 2:00	56			
22/06/2002 3:00	70			
22/06/2002 4:00	37			
22/06/2002 5:00	23			
22/06/2002 6:00	18			
22/06/2002 7:00	25			
22/06/2002 8:00	39			
22/06/2002 9:00	82			
22/06/2002 10:00	99			
22/06/2002 11:00	245			
22/06/2002 12:00	78			
22/06/2002 13:00	51			
22/06/2002 14:00	75			
22/06/2002 15:00	15			
22/06/2002 16:00	28			
22/06/2002 17:00	77			
22/06/2002 18:00	122			
22/06/2002 19:00	193			
22/06/2002 20:00	199			
22/06/2002 21:00	169			
22/06/2002 22:00	467			
22/06/2002 23:00	533			
23/06/2002 0:00	338	160		
23/06/2002 1:00	104			
23/06/2002 2:00	91			
23/06/2002 3:00	66			
23/06/2002 4:00	53			
23/06/2002 5:00	23			
23/06/2002 6:00	16			
23/06/2002 7:00	6			
23/06/2002 8:00	21			
23/06/2002 9:00	34			
23/06/2002 10:00	58			
23/06/2002 11:00	87			
23/06/2002 12:00	168			
23/06/2002 13:00	217			
23/06/2002 14:00	144			
23/06/2002 15:00	132			
23/06/2002 16:00	136			
23/06/2002 17:00	95			
23/06/2002 18:00	176			
23/06/2002 19:00	373			
23/06/2002 20:00	585			
23/06/2002 21:00	504			
23/06/2002 22:00	341			
23/06/2002 23:00	79			



Tabla B.6 Episodio1 de Concentración de PM10 $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrados el año 2003 en la estación Las Encinas

Fecha	[] horaria de PM10	[] de PM10 24 horas	Duración en horas	Máxima [] 24 horas
09/07/2003 0:00	160	180		
09/07/2003 1:00	33			
09/07/2003 2:00	4			
09/07/2003 3:00	1			
09/07/2003 4:00	1			
09/07/2003 5:00	14			
09/07/2003 6:00	31			
09/07/2003 7:00	1			
09/07/2003 8:00	26			
09/07/2003 9:00	46			
09/07/2003 10:00	87			
09/07/2003 11:00	107			
09/07/2003 12:00	136			
09/07/2003 13:00	102			
09/07/2003 14:00	96			
09/07/2003 15:00	102			
09/07/2003 16:00	56			
09/07/2003 17:00	53			
09/07/2003 18:00	115			
09/07/2003 19:00	343			
09/07/2003 20:00	317			
09/07/2003 21:00	449			
09/07/2003 22:00	936			
09/07/2003 23:00	1091			
10/07/2003 0:00	996	167	96	321
10/07/2003 1:00	749			
10/07/2003 2:00	8			
10/07/2003 3:00	37			
10/07/2003 4:00	110			
10/07/2003 5:00	179			
10/07/2003 6:00	93			
10/07/2003 7:00	43			
10/07/2003 8:00	60			
10/07/2003 9:00	182			
10/07/2003 10:00	190			
10/07/2003 11:00	182			
10/07/2003 12:00	58			
10/07/2003 13:00	5			
10/07/2003 14:00	5			
10/07/2003 15:00	34			
10/07/2003 16:00	13			
10/07/2003 17:00	10			
10/07/2003 18:00	8			
10/07/2003 19:00	68			
10/07/2003 20:00	79			
10/07/2003 21:00	189			
10/07/2003 22:00	424			
10/07/2003 23:00	296			
11/07/2003 0:00	309	156		
11/07/2003 1:00	204			
11/07/2003 2:00	212			
11/07/2003 3:00	107			
11/07/2003 4:00	8			
11/07/2003 5:00	1			
11/07/2003 6:00	1			
11/07/2003 7:00	1			
11/07/2003 8:00	1			
11/07/2003 9:00	5			
11/07/2003 10:00	22			
11/07/2003 11:00	43			
11/07/2003 12:00	91			
11/07/2003 13:00	88			
11/07/2003 14:00	49			
11/07/2003 15:00	43			
11/07/2003 16:00	146			
11/07/2003 17:00	182			
11/07/2003 18:00	249			
11/07/2003 19:00	292			
11/07/2003 20:00	172			
11/07/2003 21:00	151			
11/07/2003 22:00	575			
11/07/2003 23:00	797			

**Tabla B.7 Continuación Episodio1 del años 2003 estación Las Encinas**

Fecha	[μ] horaria de PM10	[μ] de PM10 24 horas	Duración en horas	Máxima [μ] 24 horas
12/07/2003 0:00	912	321	96	321
12/07/2003 1:00	747			
12/07/2003 2:00	715			
12/07/2003 3:00	46			
12/07/2003 4:00	116			
12/07/2003 5:00	26			
12/07/2003 6:00	3			
12/07/2003 7:00	1			
12/07/2003 8:00	16			
12/07/2003 9:00	87			
12/07/2003 10:00	217			
12/07/2003 11:00	187			
12/07/2003 12:00	91			
12/07/2003 13:00	182			
12/07/2003 14:00	299			
12/07/2003 15:00	465			
12/07/2003 16:00	544			
12/07/2003 17:00	308			
12/07/2003 18:00	258			
12/07/2003 19:00	379			
12/07/2003 20:00	454			
12/07/2003 21:00	683			
12/07/2003 22:00	596			
12/07/2003 23:00	380			



Tabla B.8 Episodio2 de Concentración de PM10 $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrado el año 2003 en la estación Las Encinas

Fecha	[] horaria de PM10	[] de PM10 24 horas	Duración en horas	Máxima [] 24 horas
26/07/2003 0:00	403	142		
26/07/2003 1:00	22			
26/07/2003 2:00	137			
26/07/2003 3:00	61			
26/07/2003 4:00	17			
26/07/2003 5:00	27			
26/07/2003 6:00	15			
26/07/2003 7:00	1			
26/07/2003 8:00	1			
26/07/2003 9:00	23			
26/07/2003 10:00	47			
26/07/2003 11:00	69			
26/07/2003 12:00	90			
26/07/2003 13:00	55			
26/07/2003 14:00	40			
26/07/2003 15:00	40			
26/07/2003 16:00	17			
26/07/2003 17:00	33			
26/07/2003 18:00	42			
26/07/2003 19:00	180			
26/07/2003 20:00	427			
26/07/2003 21:00	432			
26/07/2003 22:00	587			
26/07/2003 23:00	648			
27/07/2003 0:00	563	133	120	159
27/07/2003 1:00	326			
27/07/2003 2:00	136			
27/07/2003 3:00	45			
27/07/2003 4:00	15			
27/07/2003 5:00	19			
27/07/2003 6:00	6			
27/07/2003 7:00	7			
27/07/2003 8:00	1			
27/07/2003 9:00	1			
27/07/2003 10:00	27			
27/07/2003 11:00	74			
27/07/2003 12:00	114			
27/07/2003 13:00	50			
27/07/2003 14:00	95			
27/07/2003 15:00	88			
27/07/2003 16:00	49			
27/07/2003 17:00	55			
27/07/2003 18:00	79			
27/07/2003 19:00	197			
27/07/2003 20:00	243			
27/07/2003 21:00	521			
27/07/2003 22:00	298			
27/07/2003 23:00	194			
28/07/2003 0:00	219	127		
28/07/2003 1:00	105			
28/07/2003 2:00	118			
28/07/2003 3:00	102			
28/07/2003 4:00	58			
28/07/2003 5:00	71			
28/07/2003 6:00	48			
28/07/2003 7:00	31			
28/07/2003 8:00	26			
28/07/2003 9:00	30			
28/07/2003 10:00	55			
28/07/2003 11:00	87			
28/07/2003 12:00	108			
28/07/2003 13:00	80			
28/07/2003 14:00	101			
28/07/2003 15:00	113			
28/07/2003 16:00	105			
28/07/2003 17:00	61			
28/07/2003 18:00	143			
28/07/2003 19:00	343			
28/07/2003 20:00	381			
28/07/2003 21:00	324			
28/07/2003 22:00	268			
28/07/2003 23:00	73			



Tabla B.9 Continuación Episodio2 año 2003 estación Las Encinas

Fecha	[μ] horaria de PM10	[μ] de PM10 24 horas	Duración en horas	Máxima [μ] 24 horas
29/07/2003 0:00	10	152	120	159
29/07/2003 1:00	1			
29/07/2003 2:00	7			
29/07/2003 3:00	13			
29/07/2003 4:00	1			
29/07/2003 5:00	1			
29/07/2003 6:00	5			
29/07/2003 7:00	1			
29/07/2003 8:00	22			
29/07/2003 9:00	58			
29/07/2003 10:00	309			
29/07/2003 11:00	133			
29/07/2003 12:00	174			
29/07/2003 13:00	188			
29/07/2003 14:00	146			
29/07/2003 15:00	103			
29/07/2003 16:00	57			
29/07/2003 17:00	39			
29/07/2003 18:00	120			
29/07/2003 19:00	230			
29/07/2003 20:00	509			
29/07/2003 21:00	419			
29/07/2003 22:00	661			
29/07/2003 23:00	451			
30/07/2003 0:00	405	159	120	159
30/07/2003 1:00	367			
30/07/2003 2:00	160			
30/07/2003 3:00	1			
30/07/2003 4:00	5			
30/07/2003 5:00	7			
30/07/2003 6:00	2			
30/07/2003 7:00	4			
30/07/2003 8:00	5			
30/07/2003 9:00	56			
30/07/2003 10:00	109			
30/07/2003 11:00	116			
30/07/2003 12:00	213			
30/07/2003 13:00	241			
30/07/2003 14:00	95			
30/07/2003 15:00	174			
30/07/2003 16:00	94			
30/07/2003 17:00	42			
30/07/2003 18:00	27			
30/07/2003 19:00	327			
30/07/2003 20:00	579			
30/07/2003 21:00	299			
30/07/2003 22:00	387			
30/07/2003 23:00	109			



Tabla B.10 Episodio1 de Concentración de PM10 $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrado el año 2004 en la estación Las Encinas

Fecha	[] horaria de PM10	[] de PM10 24 horas	Duración en horas	Máxima [] 24 horas
13/05/2004 0:00	481	151		
13/05/2004 1:00	201			
13/05/2004 2:00	54			
13/05/2004 3:00	49			
13/05/2004 4:00	40			
13/05/2004 5:00	13			
13/05/2004 6:00	4			
13/05/2004 7:00	33			
13/05/2004 8:00	39			
13/05/2004 9:00	65			
13/05/2004 10:00	72			
13/05/2004 11:00	-			
13/05/2004 12:00	-			
13/05/2004 13:00	48			
13/05/2004 14:00	48			
13/05/2004 15:00	23			
13/05/2004 16:00	33			
13/05/2004 17:00	90			
13/05/2004 18:00	176			
13/05/2004 19:00	408			
13/05/2004 20:00	449			
13/05/2004 21:00	395			
13/05/2004 22:00	332			
13/05/2004 23:00	275			
14/05/2004 0:00	253	144	144	229
14/05/2004 1:00	240			
14/05/2004 2:00	65			
14/05/2004 3:00	60			
14/05/2004 4:00	45			
14/05/2004 5:00	9			
14/05/2004 6:00	33			
14/05/2004 7:00	36			
14/05/2004 8:00	40			
14/05/2004 9:00	105			
14/05/2004 10:00	136			
14/05/2004 11:00	135			
14/05/2004 12:00	138			
14/05/2004 13:00	89			
14/05/2004 14:00	59			
14/05/2004 15:00	56			
14/05/2004 16:00	59			
14/05/2004 17:00	71			
14/05/2004 18:00	93			
14/05/2004 19:00	264			
14/05/2004 20:00	586			
14/05/2004 21:00	235			
14/05/2004 22:00	367			
14/05/2004 23:00	282			
15/05/2004 0:00	265	229		
15/05/2004 1:00	222			
15/05/2004 2:00	109			
15/05/2004 3:00	86			
15/05/2004 4:00	73			
15/05/2004 5:00	51			
15/05/2004 6:00	42			
15/05/2004 7:00	51			
15/05/2004 8:00	65			
15/05/2004 9:00	103			
15/05/2004 10:00	123			
15/05/2004 11:00	159			
15/05/2004 12:00	259			
15/05/2004 13:00	316			
15/05/2004 14:00	135			
15/05/2004 15:00	79			
15/05/2004 16:00	29			
15/05/2004 17:00	91			
15/05/2004 18:00	248			
15/05/2004 19:00	503			
15/05/2004 20:00	556			
15/05/2004 21:00	494			
15/05/2004 22:00	721			
15/05/2004 23:00	723			



Tabla B.11 Continuación Episodio1 año 2004 estación Las Encinas

Fecha	[] horaria de PM10	[] de PM10 24 horas	Duración en horas	Máxima [] 24 horas
16/05/2004 0:00	453	215		
16/05/2004 1:00	528			
16/05/2004 2:00	475			
16/05/2004 3:00	152			
16/05/2004 4:00	3			
16/05/2004 5:00	1			
16/05/2004 6:00	1			
16/05/2004 7:00	1			
16/05/2004 8:00	1			
16/05/2004 9:00	13			
16/05/2004 10:00	33			
16/05/2004 11:00	62			
16/05/2004 12:00	104			
16/05/2004 13:00	85			
16/05/2004 14:00	112			
16/05/2004 15:00	94			
16/05/2004 16:00	190			
16/05/2004 17:00	124			
16/05/2004 18:00	203			
16/05/2004 19:00	321			
16/05/2004 20:00	577			
16/05/2004 21:00	714			
16/05/2004 22:00	510			
16/05/2004 23:00	392			
17/05/2004 0:00	293	183	144	229
17/05/2004 1:00	292			
17/05/2004 2:00	162			
17/05/2004 3:00	38			
17/05/2004 4:00	51			
17/05/2004 5:00	32			
17/05/2004 6:00	27			
17/05/2004 7:00	61			
17/05/2004 8:00	50			
17/05/2004 9:00	148			
17/05/2004 10:00	229			
17/05/2004 11:00	279			
17/05/2004 12:00	268			
17/05/2004 13:00	105			
17/05/2004 14:00	120			
17/05/2004 15:00	121			
17/05/2004 16:00	126			
17/05/2004 17:00	136			
17/05/2004 18:00	158			
17/05/2004 19:00	247			
17/05/2004 20:00	259			
17/05/2004 21:00	385			
17/05/2004 22:00	370			
17/05/2004 23:00	436			
18/05/2004 0:00	471	201		
18/05/2004 1:00	270			
18/05/2004 2:00	173			
18/05/2004 3:00	108			
18/05/2004 4:00	102			
18/05/2004 5:00	111			
18/05/2004 6:00	59			
18/05/2004 7:00	14			
18/05/2004 8:00	9			
18/05/2004 9:00	21			
18/05/2004 10:00	21			
18/05/2004 11:00	35			
18/05/2004 12:00	40			
18/05/2004 13:00	112			
18/05/2004 14:00	134			
18/05/2004 15:00	112			
18/05/2004 16:00	245			
18/05/2004 17:00	260			
18/05/2004 18:00	405			
18/05/2004 19:00	699			
18/05/2004 20:00	465			
18/05/2004 21:00	364			
18/05/2004 22:00	219			
18/05/2004 23:00	373			



Tabla B.12 Episodio2 de Concentración de PM10 $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrado el año 2004 en la estación Las Encinas

Fecha	[] horaria de PM10	[] de PM10 24 horas	Duración en horas	Máxima [] 24 horas
10/06/2004 0:00	108	152		
10/06/2004 1:00	151			
10/06/2004 2:00	132			
10/06/2004 3:00	38			
10/06/2004 4:00	29			
10/06/2004 5:00	33			
10/06/2004 6:00	52			
10/06/2004 7:00	47			
10/06/2004 8:00	106			
10/06/2004 9:00	182			
10/06/2004 10:00	248			
10/06/2004 11:00	184			
10/06/2004 12:00	22			
10/06/2004 13:00	9			
10/06/2004 14:00	16			
10/06/2004 15:00	13			
10/06/2004 16:00	22			
10/06/2004 17:00	44			
10/06/2004 18:00	114			
10/06/2004 19:00	307			
10/06/2004 20:00	359			
10/06/2004 21:00	517			
10/06/2004 22:00	425			
10/06/2004 23:00	501			
11/06/2004 0:00	494	220	72	220
11/06/2004 1:00	410			
11/06/2004 2:00	159			
11/06/2004 3:00	-			
11/06/2004 4:00	5			
11/06/2004 5:00	22			
11/06/2004 6:00	19			
11/06/2004 7:00	1			
11/06/2004 8:00	11			
11/06/2004 9:00	38			
11/06/2004 10:00	58			
11/06/2004 11:00	105			
11/06/2004 12:00	180			
11/06/2004 13:00	226			
11/06/2004 14:00	64			
11/06/2004 15:00	36			
11/06/2004 16:00	64			
11/06/2004 17:00	49			
11/06/2004 18:00	35			
11/06/2004 19:00	344			
11/06/2004 20:00	675			
11/06/2004 21:00	630			
11/06/2004 22:00	652			
11/06/2004 23:00	789			
12/06/2004 0:00	781	122		
12/06/2004 1:00	472			
12/06/2004 2:00	-			
12/06/2004 3:00	-			
12/06/2004 4:00	1			
12/06/2004 5:00	1			
12/06/2004 6:00	1			
12/06/2004 7:00	1			
12/06/2004 8:00	1			
12/06/2004 9:00	2			
12/06/2004 10:00	1			
12/06/2004 11:00	22			
12/06/2004 12:00	29			
12/06/2004 13:00	39			
12/06/2004 14:00	105			
12/06/2004 15:00	202			
12/06/2004 16:00	179			
12/06/2004 17:00	88			
12/06/2004 18:00	219			
12/06/2004 19:00	116			
12/06/2004 20:00	194			
12/06/2004 21:00	81			
12/06/2004 22:00	77			
12/06/2004 23:00	63			



Tabla B.13 Episodio3 de Concentración de PM10 $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrado el año 2004 en la estación Las Encinas

Fecha	[] horaria de PM10	[] de PM10 24 horas	Duración en horas	Máxima [] 24 horas
06/08/2004 00:00	165	124		
06/08/2004 01:00	158			
06/08/2004 02:00	203			
06/08/2004 03:00	208			
06/08/2004 04:00	183			
06/08/2004 05:00	116			
06/08/2004 06:00	71			
06/08/2004 07:00	40			
06/08/2004 08:00	22			
06/08/2004 09:00	24			
06/08/2004 10:00	45			
06/08/2004 11:00	78			
06/08/2004 12:00	128			
06/08/2004 13:00	158			
06/08/2004 14:00	123			
06/08/2004 15:00	70			
06/08/2004 16:00	37			
06/08/2004 17:00	20			
06/08/2004 18:00	12			
06/08/2004 19:00	50			
06/08/2004 20:00	118			
06/08/2004 21:00	174			
06/08/2004 22:00	337			
06/08/2004 23:00	286			
07/08/2004 00:00	303	130	120	147
07/08/2004 01:00	338			
07/08/2004 02:00	266			
07/08/2004 03:00	194			
07/08/2004 04:00	146			
07/08/2004 05:00	116			
07/08/2004 06:00	70			
07/08/2004 07:00	38			
07/08/2004 08:00	46			
07/08/2004 09:00	49			
07/08/2004 10:00	67			
07/08/2004 11:00	98			
07/08/2004 12:00	123			
07/08/2004 13:00	98			
07/08/2004 14:00	78			
07/08/2004 15:00	63			
07/08/2004 16:00	38			
07/08/2004 17:00	22			
07/08/2004 18:00	15			
07/08/2004 19:00	35			
07/08/2004 20:00	51			
07/08/2004 21:00	94			
07/08/2004 22:00	246			
07/08/2004 23:00	401			
08/08/2004 00:00	435	121		
08/08/2004 01:00	338			
08/08/2004 02:00	243			
08/08/2004 03:00	172			
08/08/2004 04:00	103			
08/08/2004 05:00	92			
08/08/2004 06:00	110			
08/08/2004 07:00	84			
08/08/2004 08:00	71			
08/08/2004 09:00	65			
08/08/2004 10:00	66			
08/08/2004 11:00	66			
08/08/2004 12:00	104			
08/08/2004 13:00	115			
08/08/2004 14:00	89			
08/08/2004 15:00	54			
08/08/2004 16:00	42			
08/08/2004 17:00	26			
08/08/2004 18:00	15			
08/08/2004 19:00	35			
08/08/2004 20:00	92			
08/08/2004 21:00	105			
08/08/2004 22:00	145			
08/08/2004 23:00	255			



Tabla B.14 Continuación Episodio3 año 2004 estación Las Encinas

Fecha	[] horaria de PM10	[] de PM10 24 horas	Duración en horas	Máxima [] 24 horas
09/08/2004 00:00	424	147		
09/08/2004 01:00	519			
09/08/2004 02:00	433			
09/08/2004 03:00	337			
09/08/2004 04:00	285			
09/08/2004 05:00	245			
09/08/2004 06:00	151			
09/08/2004 07:00	90			
09/08/2004 08:00	58			
09/08/2004 09:00	42			
09/08/2004 10:00	60			
09/08/2004 11:00	93			
09/08/2004 12:00	96			
09/08/2004 13:00	84			
09/08/2004 14:00	75			
09/08/2004 15:00	74			
09/08/2004 16:00	67			
09/08/2004 17:00	62			
09/08/2004 18:00	71			
09/08/2004 19:00	96			
09/08/2004 20:00	110			
09/08/2004 21:00	114			
09/08/2004 22:00	107			
09/08/2004 23:00	120			
10/08/2004 00:00	128	120	120	147
10/08/2004 01:00	108			
10/08/2004 02:00	104			
10/08/2004 03:00	72			
10/08/2004 04:00	58			
10/08/2004 05:00	52			
10/08/2004 06:00	37			
10/08/2004 07:00	29			
10/08/2004 08:00	44			
10/08/2004 09:00	89			
10/08/2004 10:00	98			
10/08/2004 11:00	101			
10/08/2004 12:00	94			
10/08/2004 13:00	93			
10/08/2004 14:00	79			
10/08/2004 15:00	58			
10/08/2004 16:00	45			
10/08/2004 17:00	59			
10/08/2004 18:00	82			
10/08/2004 19:00	111			
10/08/2004 20:00	205			
10/08/2004 21:00	308			
10/08/2004 22:00	358			
10/08/2004 23:00	325			



Tabla B.15 Episodio1 de Concentración de PM10 $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrado el año 2003 en la estación Padre las Casas

Fecha	[] horaria de PM10	[] de PM10 24 horas	Duración en horas	Máxima [] 24 horas
01/04/2003 0:00	128	140	48	140
01/04/2003 1:00	77			
01/04/2003 2:00	51			
01/04/2003 3:00	49			
01/04/2003 4:00	46			
01/04/2003 5:00	13			
01/04/2003 6:00	39			
01/04/2003 7:00	30			
01/04/2003 8:00	103			
01/04/2003 9:00	131			
01/04/2003 10:00	111			
01/04/2003 11:00	108			
01/04/2003 12:00	42			
01/04/2003 13:00	-			
01/04/2003 14:00	220			
01/04/2003 15:00	284			
01/04/2003 16:00	172			
01/04/2003 17:00	217			
01/04/2003 18:00	161			
01/04/2003 19:00	264			
01/04/2003 20:00	251			
01/04/2003 21:00	295			
01/04/2003 22:00	233			
01/04/2003 23:00	206			
02/04/2003 0:00	197	123	48	140
02/04/2003 1:00	80			
02/04/2003 2:00	140			
02/04/2003 3:00	145			
02/04/2003 4:00	113			
02/04/2003 5:00	116			
02/04/2003 6:00	107			
02/04/2003 7:00	100			
02/04/2003 8:00	126			
02/04/2003 9:00	111			
02/04/2003 10:00	124			
02/04/2003 11:00	176			
02/04/2003 12:00	81			
02/04/2003 13:00	101			
02/04/2003 14:00	74			
02/04/2003 15:00	53			
02/04/2003 16:00	72			
02/04/2003 17:00	130			
02/04/2003 18:00	181			
02/04/2003 19:00	142			
02/04/2003 20:00	120			
02/04/2003 21:00	160			
02/04/2003 22:00	159			
02/04/2003 23:00	137			



Tabla B.16 Episodio1 de concentración de PM10 $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrado el año 2004 en la estación Padre las Casas

Fecha	[] horaria de PM10	[] de PM10 24 horas	Duración en horas	Máxima [] 24 horas
13/05/2004 0:00	129	176		
13/05/2004 1:00	210			
13/05/2004 2:00	134			
13/05/2004 3:00	58			
13/05/2004 4:00	34			
13/05/2004 5:00	36			
13/05/2004 6:00	39			
13/05/2004 7:00	27			
13/05/2004 8:00	98			
13/05/2004 9:00	163			
13/05/2004 10:00	70			
13/05/2004 11:00	85			
13/05/2004 12:00	125			
13/05/2004 13:00	164			
13/05/2004 14:00	117			
13/05/2004 15:00	35			
13/05/2004 16:00	30			
13/05/2004 17:00	58			
13/05/2004 18:00	108			
13/05/2004 19:00	696			
13/05/2004 20:00	581			
13/05/2004 21:00	558			
13/05/2004 22:00	370			
13/05/2004 23:00	293			
14/05/2004 0:00	191	187	144	201
14/05/2004 1:00	222			
14/05/2004 2:00	249			
14/05/2004 3:00	95			
14/05/2004 4:00	75			
14/05/2004 5:00	33			
14/05/2004 6:00	20			
14/05/2004 7:00	15			
14/05/2004 8:00	98			
14/05/2004 9:00	257			
14/05/2004 10:00	182			
14/05/2004 11:00	124			
14/05/2004 12:00	81			
14/05/2004 13:00	81			
14/05/2004 14:00	59			
14/05/2004 15:00	51			
14/05/2004 16:00	61			
14/05/2004 17:00	126			
14/05/2004 18:00	246			
14/05/2004 19:00	364			
14/05/2004 20:00	394			
14/05/2004 21:00	630			
14/05/2004 22:00	513			
14/05/2004 23:00	314			
15/05/2004 0:00	129	197		
15/05/2004 1:00	122			
15/05/2004 2:00	88			
15/05/2004 3:00	54			
15/05/2004 4:00	17			
15/05/2004 5:00	17			
15/05/2004 6:00	13			
15/05/2004 7:00	38			
15/05/2004 8:00	62			
15/05/2004 9:00	111			
15/05/2004 10:00	103			
15/05/2004 11:00	117			
15/05/2004 12:00	203			
15/05/2004 13:00	72			
15/05/2004 14:00	57			
15/05/2004 15:00	55			
15/05/2004 16:00	49			
15/05/2004 17:00	86			
15/05/2004 18:00	221			
15/05/2004 19:00	373			
15/05/2004 20:00	802			
15/05/2004 21:00	476			
15/05/2004 22:00	731			
15/05/2004 23:00	722			



Tabla B.17 Continuación Episodio1 año 2004 estación Padre las Casas

Fecha	PM10 horaria	PM10 de 24 horas	Duración en horas	Máxima PM10 de 24 horas
16/05/2004 0:00	207	145		
16/05/2004 1:00	416			
16/05/2004 2:00	118			
16/05/2004 3:00	15			
16/05/2004 4:00	69			
16/05/2004 5:00	3			
16/05/2004 6:00	1			
16/05/2004 7:00	1			
16/05/2004 8:00	1			
16/05/2004 9:00	25			
16/05/2004 10:00	69			
16/05/2004 11:00	68			
16/05/2004 12:00	78			
16/05/2004 13:00	123			
16/05/2004 14:00	127			
16/05/2004 15:00	156			
16/05/2004 16:00	129			
16/05/2004 17:00	165			
16/05/2004 18:00	202			
16/05/2004 19:00	341			
16/05/2004 20:00	297			
16/05/2004 21:00	337			
16/05/2004 22:00	248			
16/05/2004 23:00	284			
17/05/2004 0:00	211	201	144	201
17/05/2004 1:00	101			
17/05/2004 2:00	132			
17/05/2004 3:00	102			
17/05/2004 4:00	94			
17/05/2004 5:00	63			
17/05/2004 6:00	66			
17/05/2004 7:00	93			
17/05/2004 8:00	141			
17/05/2004 9:00	179			
17/05/2004 10:00	209			
17/05/2004 11:00	135			
17/05/2004 12:00	214			
17/05/2004 13:00	318			
17/05/2004 14:00	169			
17/05/2004 15:00	120			
17/05/2004 16:00	149			
17/05/2004 17:00	173			
17/05/2004 18:00	188			
17/05/2004 19:00	321			
17/05/2004 20:00	407			
17/05/2004 21:00	254			
17/05/2004 22:00	474			
17/05/2004 23:00	515			
18/05/2004 0:00	353	150		
18/05/2004 1:00	250			
18/05/2004 2:00	136			
18/05/2004 3:00	87			
18/05/2004 4:00	70			
18/05/2004 5:00	71			
18/05/2004 6:00	49			
18/05/2004 7:00	16			
18/05/2004 8:00	34			
18/05/2004 9:00	29			
18/05/2004 10:00	26			
18/05/2004 11:00	29			
18/05/2004 12:00	17			
18/05/2004 13:00	87			
18/05/2004 14:00	150			
18/05/2004 15:00	194			
18/05/2004 16:00	168			
18/05/2004 17:00	205			
18/05/2004 18:00	417			
18/05/2004 19:00	362			
18/05/2004 20:00	181			
18/05/2004 21:00	221			
18/05/2004 22:00	186			
18/05/2004 23:00	253			



ANEXO C

EJERCICIO DE APLICACIÓN DEL MODELO PARA EVALUAR MEDIDAS DE REDUCCION DE EMISIONES



C.- MODELACIÓN DEL PM10 CONSIDERANDO MEDIDAS

El ejercicio de modelación considera un conjunto de 15 medidas de reducción de emisiones de materia particulada, dirigidas principalmente a las fuentes de combustión residencial. Dentro de este conjunto destacan medidas restrictivas en el uso de artefactos, medidas que suponen mejoras tecnológicas, mejoras en el combustible, y combinaciones de ellas. Todas estas medidas se evaluaron para todos los años considerados en la evaluación. La Tabla C.1 muestra las medidas evaluadas, las cuales se agrupan en medidas básicas (M1 a M4), y la combinación de ellas (M5 a M15).

Tabla C.1 Medidas evaluadas para el control de emisión de MP

Nº	Medida	Descripción
M1	Prohibición Chimenea y Salamandra	Prohibición de estos artefactos
M2	Mejora tecnológica para Estufas	Cambio del Factor de emisión
M3	Restricción leña húmeda	Uso sólo de leña seca
M4	Mejora tecnológica en Cocinas	Cambio del Factor de emisión
M5	Medidas M1 y M2 juntas	Combinación de medidas anteriores
M6	Medidas M1 y M3 juntas	
M7	Medidas M1 y M4 juntas	
M8	Medidas M2 y M3 juntas	
M9	Medidas M2 y M4 juntas	
M10	Medidas M3 y M4 juntas	
M11	Medidas M1, M2, y M3 juntas	
M12	Medidas M1, M2, y M4 juntas	
M13	Medidas M1, M3, y M4 juntas	
M14	Medidas M2, M3, y M4 juntas	
M15	Medidas M1, M2, M3 y M4 juntas	

Descripción de las medidas evaluadas

M1: Prohibición Chimenea y Salamandra

Esta medida contempla la prohibición de artefactos de combustión de hogar abierto a leña, suponiendo su reemplazo por equipos a gas.

M2: Mejora tecnológica para estufas simples y doble cámara

La mejora tecnológica evaluada en este tipo de calefactores, implica un cambio del factor de emisión de estufas simples utilizando leña seca de 8.1 g/kg a 4.5 g/Kg, y el cambio del factor de emisión de estufas doble cámara de 15.3 g/Kg y 10.2 g/kg para leña seca y húmeda, respectivamente también a 4.5 g/kg.

M3: Restricción leña húmeda

Sólo se venderá leña seca, lo que implica que los equipos producirán menos emisiones, debido a una mejor combustión.



M4: Mejora tecnológica en Cocinas

La mejora tecnológica en las cocinas implica un cambio del factor de emisión de PM10 desde 15.3 g/Kg a 9.7g/kg para cocinas que utilizan leña seca, y de 17.3 g/Kg a 12.2 g/Kg para aquellas que utilizan leña húmeda. Estos nuevos factores corresponden a los valores promedios para este tipo de artefacto.

Las medidas M5 a M15 corresponden a la aplicación en forma simultánea de dos o más medidas de las descritas anteriormente (M1 a M4).

A.1 Potencial de reducción de emisiones

La Tabla C.2 entrega las toneladas de PM10 esperadas para cada año de evaluación y medida propuesta. Cada una de las medidas, tiene un potencial de reducción de emisiones, el cual se muestra en la Tabla C.3 y Figura C.1.

De las Tablas C.2 y C.3 se observa que de las medidas básica, la M2 (mejora tecnológica para las estufas) es la que produce, en forma individual, la mayor reducción de emisiones de PM10, entre un 22.6% el 2004 y un 33.3% al final del período (2016), mientras que la medida M4 (mejora tecnológica en cocinas), es la menos efectiva, siendo su potencial de reducción de un 16.5% el 2004 a un 10.0% el 2016. Además, la medida M2 produce una disminución de las emisiones en el tiempo, mientras que con M4 las emisiones se incrementan en el tiempo. Esto último se debe a que el número de cocinas a leña decrece en el tiempo por recambio de este tipo de artefacto, según se desprende de la información censal.

Al considerar dos medidas simultáneamente, se desprende que la medida M5 (prohibición de artefactos de hogar abierto y la mejora tecnológica para estufas), produce una mayor reducción de emisiones, entre un 34.8% a un 50.5%, al principio y al final del período de evaluación, respectivamente. La medida menos eficiente es la que considera la prohibición de chimeneas y salamandras, y la mejora tecnológica en cocina, logrando reducciones de entre un 28.7% a un 27.2% para el 2004 y 2016, respectivamente.

Considerando una combinación de tres medidas simultáneamente, se desprende que la medida M12 (prohibición de artefactos de hogar abierto y mejora tecnológica para estufas y cocinas), contiene el mayor potencial de reducción de emisiones, con un 51.3% el 2004 y un 60.5% al 2016.

La Figura C.1 muestra gráficamente el potencial de reducción (%) de cada medida.

**Tabla C.2 Emisión Residencial de PM10 (Ton/año) según año y medida**

MEDIDAS	2004	2008	2012	2016
BAU	3238	3351	3525	3777
M1	2843	2881	2972	3125
M2	2507	2465	2470	2521
M3	2540	2566	2640	2769
M4	2704	2876	3102	3401
M5	2112	1996	1916	1868
M6	2247	2213	2220	2269
M7	2308	2407	2549	2748
M8	2241	2203	2206	2252
M9	1973	1990	2047	2145
M10	1965	2055	2184	2364
M11	1947	1850	1786	1753
M12	1577	1521	1493	1492
M13	1671	1702	1764	1864
M14	1665	1692	1751	1847
M15	1371	1339	1331	1347

Tabla C.3 Porcentaje de reducción de emisiones según medida

MEDIDAS	2004	2008	2012	2016
M1	12.2	14.0	15.7	17.3
M2	22.6	26.4	29.9	33.3
M3	21.6	23.4	25.1	26.7
M4	16.5	14.2	12.0	10.0
M5	34.8	40.4	45.6	50.5
M6	30.6	34.0	37.0	39.9
M7	28.7	28.2	27.7	27.2
M8	30.8	34.3	37.4	40.4
M9	39.1	40.6	41.9	43.2
M10	39.3	38.7	38.0	37.4
M11	39.9	44.8	49.3	53.6
M12	51.3	54.6	57.6	60.5
M13	48.4	49.2	50.0	50.6
M14	48.6	49.5	50.3	51.1
M15	57.7	60.0	62.2	64.3

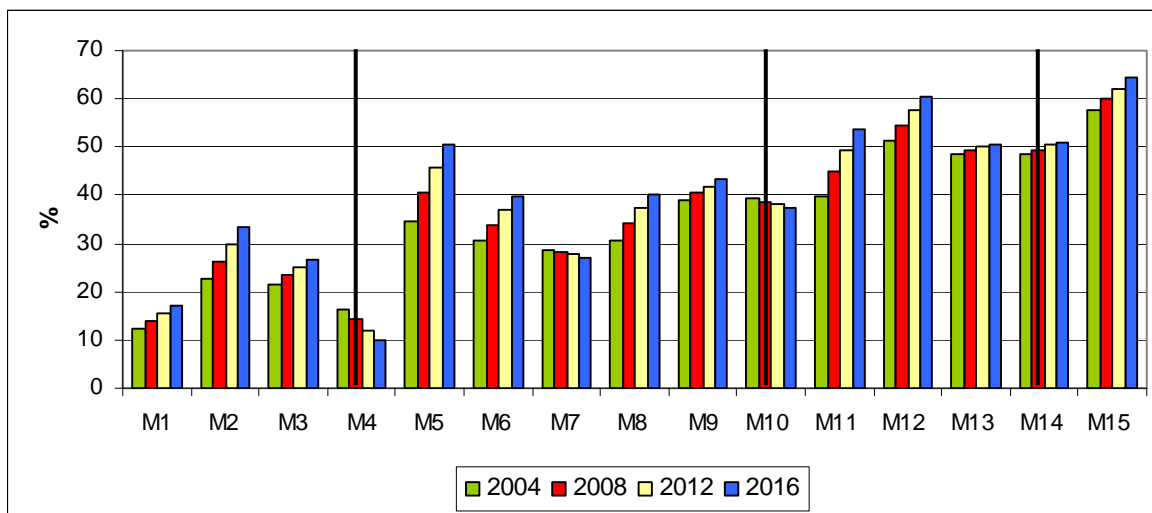


Figura C.1 Potencial de reducción de emisiones para cada medida y año en evaluación

C.2 Evaluación del cumplimiento de la norma de calidad del aire

Siguiendo el protocolo de la USEPA, se calcularon los Factores de Reducción Relativos (FRR), ver Capítulo IX.

Las Tablas C.4 a C.7 muestran los resultados del percentil 98 para cada medida, y para cada año de evaluación. De ellas se observa que todas las medidas evaluadas logran cumplir la norma del percentil 98 para el PM10 hasta el 2016, con excepción de la medida M4 (mejora tecnológica en las cocinas). La categoría de latencia, se eliminaría sólo con las medidas M5, M6, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14, y M15, es decir, con combinaciones de las medidas básicas. Ver Figura C.2.

Tabla C.4 Percentil 98 asociado a cada medida año 2004

Medidas	Modelado	FRR	P98
BAU	181	--	172
M1	157	0.87	150
M2	141	0.78	134
M3	142	0.79	135
M4	152	0.84	145
M5	117	0.65	111
M6	125	0.69	119
M7	129	0.71	122
M8	126	0.70	120
M9	112	0.62	106
M10	110	0.61	105
M11	108	0.60	103
M12	88	0.49	84
M13	93	0.51	88
M14	93	0.51	88
M15	77	0.43	73



Tabla C.5 Percentil 98 asociado a cada medida año 2008

Medidas	Modelado	FRR	P98
BAU	178	0.98	170
M1	152	0.84	144
M2	131	0.72	125
M3	137	0.76	130
M4	155	0.86	147
M5	104	0.58	99
M6	117	0.64	111
M7	128	0.71	122
M8	117	0.65	112
M9	107	0.59	102
M10	109	0.60	104
M11	97	0.54	92
M12	81	0.45	77
M13	90	0.50	86
M14	90	0.50	86
M15	71	0.39	68

Tabla C.6 Percentil 98 asociado a cada medida año 2012

Medidas	Modelado	FRR	P98
BAU	183	1.01	175
M1	153	0.84	145
M2	128	0.71	122
M3	138	0.76	131
M4	163	0.90	155
M5	97	0.54	92
M6	114	0.63	108
M7	133	0.73	126
M8	115	0.63	109
M9	108	0.60	103
M10	113	0.63	108
M11	91	0.50	87
M12	77	0.43	73
M13	92	0.51	88
M14	91	0.50	87
M15	69	0.38	66



Tabla C.7 Percentil 98 asociado a cada medida año 2016

Medidas	Modelado	FRR	P98
BAU	190	1.05	180
M1	155	0.86	147
M2	125	0.69	119
M3	139	0.77	132
M4	173	0.96	165
M5	90	0.50	86
M6	112	0.62	106
M7	138	0.76	131
M8	112	0.62	107
M9	109	0.60	103
M10	119	0.66	113
M11	85	0.47	81
M12	74	0.41	70
M13	94	0.52	89
M14	93	0.51	88
M15	68	0.38	65

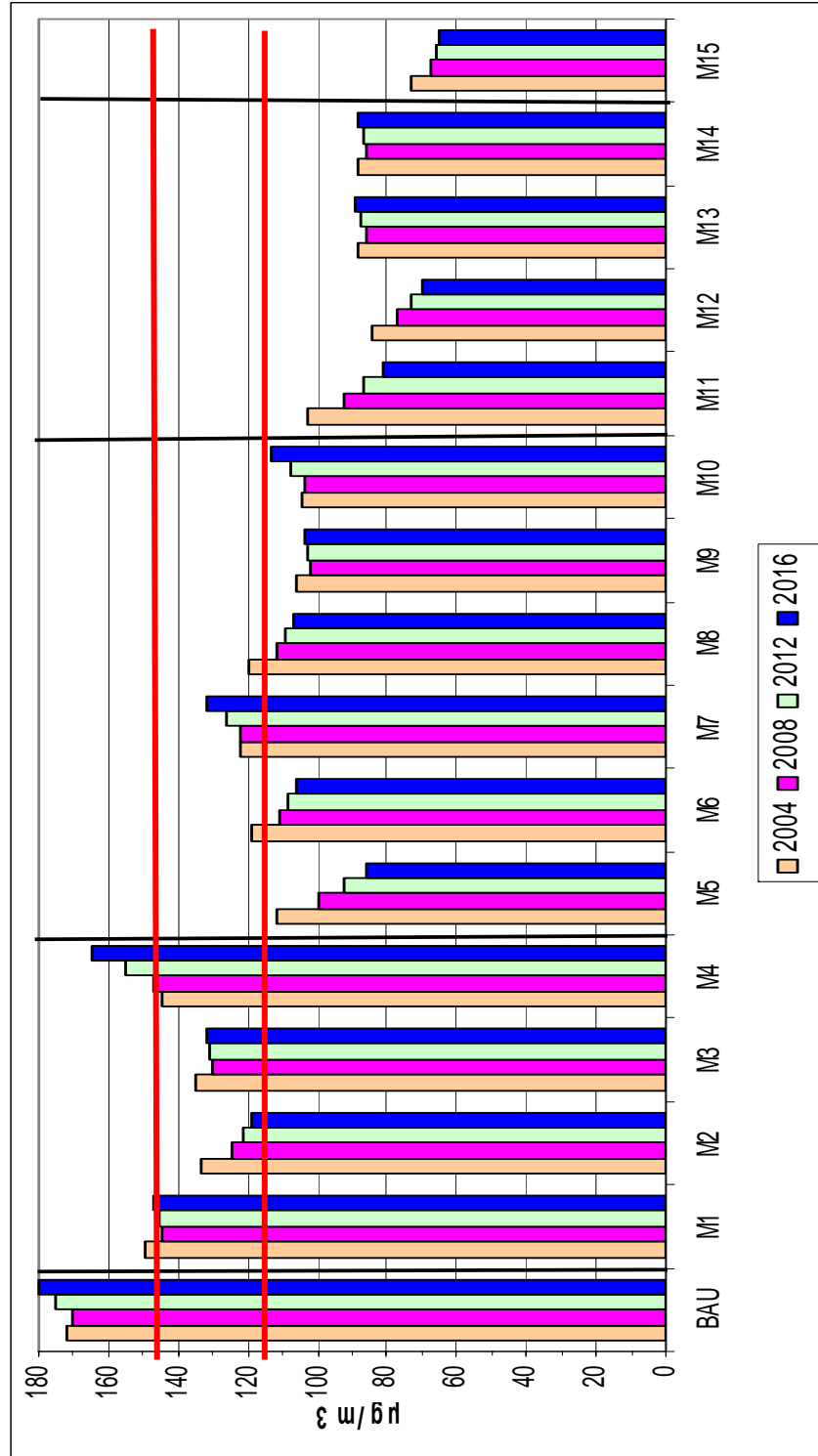


Figura C.2 Percentil 98 asociado a cada medida y año de evaluación



ANEXO D

CALCULO DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DE EMISIONES SEGÚN MEDIDA



D.- Calculo del potencial de reducción de emisiones de PM10 por medida Sector Residencial

Para obtener el potencial de reducción de emisiones de PM10 que se logra con cada una de las medidas evaluadas en el Anexo C, es necesario conocer las emisiones esperadas con y sin medidas para cada año de evaluación. Para esto se utilizó el modelo **Emisiones.xls** generado en el estudio "Diseño de escenarios para apoyar la gestión del aire en Temuco y Padre las Casas". Dicho modelo permite estimar emisiones residenciales (calefacción y cocina) por tipo de artefacto, en función del nivel socioeconómico y humedad de la leña.

En la hoja de cálculo denominada **Base** se estimó la emisión de PM10 (ton/año) esperada con y sin medidas, para los años 2004, 2008, 2012, y 2016.

- **Calculo de emisiones de PM10, situación BAU**

Para esto es necesario conocer la proyección del número de viviendas para cada año en evaluación y su distribución según nivel socioeconómico. Estos datos se ingresan en los sectores destacados de la hoja de cálculo **Base**, además se debe ingresar la diferencia que existe entre el año que se está evaluando y el año base (2001) que se utilizó para confeccionar dicha planilla de cálculo (ver Figura D.1).

La Tabla D.1 muestra la proyección del número de viviendas y distribución porcentual según nivel socioeconómico para los años en evaluación.

Tabla D.1 Proyección del número de viviendas y distribución porcentual según nivel socioeconómico

AÑO	TOTAL DE VIVIENDAS	SECTRA		
		ALTO (%)	MEDIO (%)	BAJO (%)
2004	76289	11	32	57
2008	87870	13	34	53
2012	101208	15	35	50
2016	116572	17	36	47

Fuente: Estudio "Diseño de escenarios para apoyar la gestión del aire en Temuco y Padre las Casas"

Con este procedimiento se obtienen las toneladas de PM10 esperadas para cada año al considerar la situación BAU. La Figura D.2 muestra la proyección al año 2004.



MODELO PARA CALCULAR EMISIONES (SIN MEDIDAS)						
Total de viviendas	76289	%	% base 2001	verificador	año	tasa
Alto	8392	0.11	0.08	100	3	-1.0667
Medio	24412	0.32	0.39			-1.0596
Bajo	43485	0.57	0.53			-1.0523
Probabilidad de usar el artefacto por NSE						
	Alto	Medio	Bajo	2001	2007	2010
Cocina	0.08	0.28	0.589	0	6	9
Salamandra	0.03	0.04	0.104			
Estufa simple	0.30	0.39	0.108			
Estufa doble camara	0.09	0.08	0.004			
Chimenea	0.07	0.04	0.000			
Nivel Socioeconómico	Tipo de artefacto	N° de equipos que usan leña	Ajuste por cambio a gas	CONS_PROM M3/AÑO	CONS_SECO	CONS_HUM
Alto	Cocina	710	577	7.7	885.5	3541.9
	Salamandra	250		12.8	640.5	2561.8
	Estufa simple	2550		6.0	3050.9	12203.5
	Estufa doble camara	746		5.0	741.6	2966.4
	Chimenea	597		6.0	721.8	2887.0
Medio	Cocina	6839	5686	5.0	5729.1	22916.5
	Salamandra	894		4.3	766.8	3067.3
	Estufa simple	9642		6.5	12601.3	50405.3
	Estufa doble camara	1939		6.2	2386.2	9544.7
	Chimenea	926		10.5	1940.9	7763.7
Bajo	Cocina	25623	21808	5.2	22760.7	91042.9
	Salamandra	4523		3.6	3269.4	13077.6
	Estufa simple	4691		5.1	4803.3	19213.1
	Estufa doble camara	190		4.6	173.9	695.7
	Chimenea	0		0.0	0.0	0.0
	total	60121				

Figura D.1 Planilla de Calculo de emisiones de PM10 al 2004

Cons (ton/año)	cons Kg/año	FE (g/kg)	Emision (ton/año)	TIPO DE ARTEFACTO	EMISION ton/año	%
620	619834	15.3	9.5	Cocina	1738	54
448	448319	8.5	3.8	Salamandra	236	7
2136	2135608	8.1	17.3	Estufa simple	992	31
519	519127	8.1	4.2	Estufa doble camara	113	3
505	505230	16.6	8.4	Chimenea	160	5
2479	2479337	17.3	42.9	Total	3238	100
1793	1793277	15.9	28.4			
8542	8542433	15.3	130.7			
2077	2076510	10.2	21.2			
2021	2020920	17.3	35.0			
4010	4010386	15.3	61.4			
537	536775	8.5	4.6			
8821	8820921	8.1	71.4			
1670	1670317	8.1	13.5			
1359	1358649	16.6	22.6			
16042	16041543	17.3	277.5			
2147	2147099	15.9	34.1			
35284	35283685	15.3	539.8			
6681	6681268	10.2	68.1			
5435	5434597	17.3	94.0			
15933	15932507	15.3	243.8			
2289	2288578	8.5	19.5			
3362	3362298	8.1	27.2			
122	121741	8.1	1.0			
0	0	16.6	0.0			
63730	63730028	17.3	1102.5			
9154	9154314	15.9	145.2			
13449	13449196	15.3	205.8			
487	486965	10.2	5.0			
0	0	17.3	0.0			
			3238			

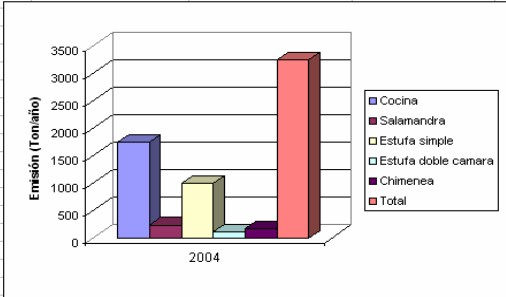


Figura D.2 Emisiones estimadas de PM10 (ton/año) al año 2004



- **Calculo de emisiones de PM10, con medidas**

Para determinar la emisión de PM10 esperada al aplicar alguna de las 15 medidas presentadas en el Anexo C, es necesario modificar de la hoja **Base** del modelo Emisiones.xls la columna de los factores de emisión y el porcentaje de leña húmeda y seca que se está usando según lo establezca la medida.

Los factores de emisión utilizados para evaluar las medidas básicas se muestran en la Tabla D.2

Tabla D.2 Factores de emisión para medidas básicas

HUMEDAD	Tipo de artefacto	FE (g/kg)				
		BAU	M1	M2	M3	M4
Seco	Cocina	15.3	15.3	15.3	15.3	9.7
	Salamandra	8.5	0.0	8.5	8.5	8.5
	Estufa simple	8.1	8.1	4.5	8.1	8.1
	Estufa doble cámara	8.1	8.1	4.5	8.1	8.1
	Chimenea	16.6	0.0	16.6	16.6	16.6
Húmedo	Cocina	17.3	17.3	17.3	17.3	12.2
	Salamandra	15.9	0.0	15.9	15.9	15.9
	Estufa simple	15.3	15.3	4.5	15.3	15.3
	Estufa doble cámara	10.2	10.2	4.5	10.2	10.2
	Chimenea	17.3	0.0	17.3	17.3	17.3

M1: Prohibición Chimenea y Salamandra
M3: Restricción leña húmeda

M2: Mejora tecnológica para Estufas
M4: Mejora tecnológica en Cocinas

En el caso de la medida que prohíbe el uso de leña húmeda (M3) no hay variación con respecto a los factores emisivos utilizados en la situación BAU debido a que ésta medida implica un cambio en la distribución del consumo de leña seca de un 20% a un 100% y la leña húmeda pasa de un 80% a 0% (ver Figura D.3).

Para las medidas que son combinaciones de las medidas básicas y que no consideran la M3, se utilizan los factores emisivos que se muestran en la Tabla D.3

Tabla D.3 Factores emisivos para combinación de medidas básicas

HUMEDAD	Tipo de artefacto	FE (g/kg)			
		M5	M7	M9	M12
Seco	Cocina	15.3	9.7	9.7	9.7
	Salamandra	0.0	0.0	8.5	0.0
	Estufa simple	4.5	8.1	4.5	4.5
	Estufa doble cámara	4.5	8.1	4.5	4.5
	Chimenea	0.0	0.0	16.6	0.0
Húmedo	Cocina	17.3	12.2	12.2	12.2
	Salamandra	0.0	0.0	15.9	0.0
	Estufa simple	4.5	15.3	4.5	4.5
	Estufa doble cámara	4.5	10.2	4.5	4.5
	Chimenea	0.0	0.0	17.3	0.0

M5: Medidas M1 y M2 juntas
M9: Medidas M2 y M4 juntas

M7: Medidas M1 y M4 juntas
M12: Medidas M1, M2, y M4 juntas



MODELO PARA CALCULAR EMISIONES (SIN MEDIDAS)						
	A	B	C	D	E	F
1						
2	Total de viviendas	76289	%	% base 2001	verificador	año
3	Alto	8392	0.11	0.08	100	3
4	Medio	24412	0.32	0.39		
5	Bajo	43485	0.57	0.53		
6	Probabilidad de usar el artefacto por NSE					
7		Alto	Medio	Bajo	2001	2007
8	Cocina	0.08	0.28	0.589	0	6
9	Salamandra	0.03	0.04	0.104		9
10	Estufa simple	0.30	0.39	0.108		
11	Estufa doble camara	0.09	0.08	0.004		
12	Chimenea	0.07	0.04	0.000		
13						
14	Nivel Socioeconómico	Tipo de artefacto	N° de equipos que usan leña	Ajuste por cambio a gas	CONS_PROM M3/AÑO	CONS_SECO
15		Cocina	710	577	7.7	885.5
16		Salamandra	250		12.8	640.5
17	Alto	Estufa simple	2550		6.0	3050.9
18		Estufa doble camara	746		5.0	741.6
19		Chimenea	597		6.0	721.8
20		Cocina	6839	5686	5.0	5729.1
21		Salamandra	894		4.3	766.8
22	Medio	Estufa simple	9642		6.5	12601.3
23		Estufa doble camara	1939		6.2	2386.2
24		Chimenea	926		10.5	1940.9
25		Cocina	25623	21808	5.2	22760.7
26		Salamandra	4523		3.6	3269.4
27	Bajo	Estufa simple	4691		5.1	4803.3
28		Estufa doble camara	190		4.6	173.9
29		Chimenea	0		0.0	0.0
30		total	60121			
31						
32						

Figura D.3 Cambio de la distribución del consumo de leña seca y húmeda

Finalmente, para las combinaciones de medidas que incluyen la M3, como es el caso de M6, M8, M10, M11, M13, M14, y M15, es necesario ingresar un 100% para leña seca (ver Figura D.3) y utilizar los factores emisivos de las medidas M1, M2, M4, M5, M7, M9, y M12 respectivamente.

Una vez estimada la emisión de PM10 esperada con y sin medidas para cada uno de los años de corte, se calculó el porcentaje de reducción de emisiones que se logra con cada una de las medidas (anexo C) en cada año en evaluación (Ver ecuación D.1).

$$RE_k = \frac{(Ea_k - Em_{ik}) * 100}{Ea_k} \quad \text{Ecuación (D.1)}$$

Donde

- RE_k : Porcentaje de reducción de emisiones esperada al aplicar una medida (m_i) en el año k
- Ea_k : Emisión de PM10 (Ton/año) sin medida al año K.
- Em_{ik} : Emisión de PM10 estimada con medidas m_i (i de 1 a 15) al año k.