

TCH-FC  
NDOC-9  
E773  
C-1



**ESTUDIO PRELIMINAR DE LAS EMISIONES Y MODELACIÓN DE LA  
CALIDAD DEL AIRE EN LAS COMUNAS DE LA CALERA, NOGALES E  
HIJUELAS**

Seminario de Título entregado a la  
Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile  
en cumplimiento parcial de los requisitos  
para optar al título de:

**QUÍMICO AMBIENTAL**

Álvaro Eugenio Espejo Caro

Director Seminario de Título: Ing. Jaime Escobar Melero

**Noviembre 2004**

FACULTAD DE CIENCIAS

UNIVERSIDAD DE CHILE



INFORME DE APROBACION

MEMORIA DE TITULO

Se informa a la escuela de Pre-grado de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile que el Seminario de Título presentado por el alumno (a).

ÁLVARO EUGENIO ESPEJO CARO

Ha sido aprobada por la Comisión de Evaluación del Seminario de Título como requisito para optar al Título de Químico Ambiental.

**Comisión**

Dr. Raúl G.E. Morales

MCs. Víctor Vargas

Dr. Manuel Leiva

**Firma**

Three handwritten signatures in black ink are written over three horizontal dotted lines. The first signature is a large, stylized cursive signature. The second signature is a smaller, more compact cursive signature. The third signature is a very stylized, almost abstract cursive signature.





*A mis padres, Raquel y César*



## AGRADECIMIENTOS

Al recordar a quienes tengo que agradecer o mencionar en esta pequeña hoja me resulta un tanto extraño, a lo largo de todos mis años de estudio estuve rodeado de bastante gente, algunas buenas personas y otras que ni mencionar...en fin, aquellas buenas personas marcaron un hito importante en mi vida estudiantil y ante todo en el proceso de esta memoria, son a esas personas quienes quiero dar mis agradecimientos.

En primer lugar quiero agradecer de forma muy especial, y eso no significa que los agradecimientos posteriores sean menos importantes, sino al contrario tienen igual peso, al anterior director de CENMA, Dr. Raúl Morales, a mi profesor guía Ing. Jaime Escobar, mi compadrito de mil batallas (grande Jimmy), gracias por su confianza, ánimo y siempre pensando positivo, gracias por los consejos, a mi amiga Pía Daroch gracias por su ayuda en los momentos complicados, por su paciencia y las siempre tan amenas conversaciones en la “carreta-bus”, a mis amigas Coty y Lissette Flores que aportaron su granito de arena a esta causa, y mi amigo Marco Miranda por las conversaciones “piratas” junto a un buen café y a todas las personas que prestaron parte de su tiempo en atenderme y explicarme, que son hartos de mencionar, muchas gracias.

Especial agradecimiento al profesor Héctor Jorquera por acogerme y ayudarme en la UC y al Ing. Julio Castro (Yulius) por ayudarme a “entender” y a “trabajar” en los modelos de dispersión que tanto dolor de cabeza me hicieron pasar.

Mi gran apoyo en esta cruzada, mis padres, fundamentales en cada momento, siempre apoyándome y dándome una palabra de aliento (a veces de reto), gracias por lo que me dieron, una buena educación y el ser siempre una mejor persona, valores fundamentales para cada persona (según mi apreciación) y a mi polola Clara por su constante apoyo y confianza..

A mis compañeros de la U, los machucaos de la comunidad ULA-ULA (knak, panda, ruizzzzz, bicho, rafoide, guerrillero, jj, galeno).

A la profe Sylvia Copaja por tener paciencia conmigo, gracias profe, a la profe Meme gracias por escucharme y estar siempre preocupado de mi en momentos difíciles, gracias por su apoyo y su tiempo.

A mi amigo y vecino, Ing. Elvis Bojorquez, gracias por ayudarme a entender SATURN.

A quienes quedaron en el tintero, mil disculpas, quienes se sientan identificado que de una u otra forma aportaron en el camino de desarrollo de este trabajo, mis agradecimientos y a quienes no .... nada.

## GLOSARIO

- **ArcView GIS:** Software de sistema de información geográfico (GIS) y trazado de mapas para ordenadores.
- **CALMET:** programa de diagnóstico de campos de viento conformado por un módulo de campos de viento y por módulos micrometeorológicos para capas límites sobre agua y sobre tierra. Utiliza sistema de grillas consistentes en NZ niveles verticales de NX por NY celdas cuadradas horizontales. Este sistema modela en estado estacionario.
- **CAMx:** (Comprehensive Air quality Model with Extensions) es un modelo de grilla fotoquímico Euleriano que permite la predicción integrada de contaminación atmosférica debido a gases y material particulado sobre escalas que varían desde la urbana a la super-regional.
- **Código GEOREF:** Sistema de ubicación aproximada para la determinación de incendios forestales que utilizada la brigada de incendios de CONAF, este sistema se encuentra a escala 1:500.000 y está basado en las cartas IGM 1:50.000.
- **GOT:** Gases orgánicos totales.
- **MODEM:** modelo de emisiones de fuentes móviles, realiza el cálculo de emisiones de para distintas fuentes contaminantes con el objetivo de generar un inventario de emisiones y archivos de entrada para modelos de dispersión atmosféricos.
- **SATURN:** (Simulation and Assignment of traffic to Urban Road Networks) es un modelo que combina un análisis de simulación y asignación a redes de tráfico urbano de ciudades medianas.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	IV
GLOSARIO.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
RESUMEN .....	XI
ABSTRACT .....	XIII
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES GENERALES .....	1
<b>2. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>5</b>
<b>3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>5</b>
<b>4. HIPÓTESIS PLANTEADA.....</b>	<b>6</b>
<b>5. DESCRIPCIÓN DE LAS FUENTES EMISORAS.....</b>	<b>7</b>
5.1 FUENTES FIJAS O PUNTUALES.....	7
5.2 FUENTES DE ÁREA .....	8
5.3 FUENTES MÓVILES.....	9
5.4 FUENTES NATURALES .....	10
5.5 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA A ESCALA FORESTAL.....	11
5.6 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR TRANSPORTE URBANO.....	13
5.7 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES .....	16
5.8 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN EN LA SALUD.....	18
5.9 ÓXIDOS DE AZUFRE (SO <sub>x</sub> ).....	19
<b>6. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....</b>	<b>22</b>
6.1 METODOLOGÍA PARA INCENDIOS FORESTALES Y QUEMAS AGRÍCOLAS .....	22
6.1.1 <i>Recopilación de los datos de CONAF V Región</i> .....	22
6.1.2 <i>Revisión de la información obtenida</i> .....	23
6.1.3 <i>Validación del código GEOREF</i> .....	24
6.1.4 <i>Georeferenciación de los eventos</i> .....	24
6.1.5 <i>Calidad de la información obtenida</i> .....	25
6.1.6 <i>Metodología de cálculo</i> .....	27
6.1.7 <i>Factores de emisión</i> .....	29



6.1.8	<i>Representación gráfica de las incidencias</i> .....	31
6.2	<b>METODOLOGÍA PARA FUENTES MÓVILES</b> .....	33
6.2.1	<i>Metodología general de estimación de fuentes móviles en ruta</i> .....	33
6.2.2	<i>Metodología de estimación de emisiones tipo arco</i> .....	34
6.2.3	<i>Expansión temporal de flujos vehiculares</i> .....	36
6.2.4	<i>Factores de emisión</i> .....	38
6.2.5	<i>Clasificación de fuentes móviles</i> .....	38
6.2.6	<i>Antecedentes del parque automotriz local</i> .....	40
6.2.7	<i>Tipos de contaminantes</i> .....	41
6.2.8	<i>Modelación del tráfico</i> .....	42
6.2.9	<i>Recopilación de antecedentes</i> .....	46
6.2.10	<i>Georeferenciación de la red vial en estudio</i> .....	47
6.2.11	<i>Recorridos del flujo fijo</i> .....	48
6.2.12	<i>Pasos para el ingreso de información al MODEM</i> .....	49
6.3	<b>METODOLOGÍA MODELO DE DISPERSIÓN</b> .....	51
6.3.1	<i>Resolución</i> .....	51
6.3.2	<i>Período</i> .....	52
6.3.3	<i>Meteorología de superficie</i> .....	53
6.3.4	<i>Estaciones en altura</i> .....	53
6.3.5	<i>Geomorfología</i> .....	54
6.3.6	<i>Concentraciones efectivas</i> .....	55
6.3.7	<i>Introducción y verificación de datos de entrada para el modelo CALMET</i> ....	55
6.3.8	<i>Creación de los archivos de entrada para CALMET</i> .....	56
6.3.9	<i>Evaluación del desempeño de un modelo de dispersión</i> .....	56
7.	<b>RESULTADOS</b> .....	61
7.1	<b>QUEMAS AGRÍCOLAS E INCENDIOS FORESTALES</b> .....	61
7.2	<b>RESULTADOS FUENTES MÓVILES</b> .....	68
7.2.1	<i>Caracterización de flujos</i> .....	68
7.2.2	<i>Emisiones de las fuentes móviles</i> .....	74
7.2.3	<i>Análisis de validación de los resultados</i> .....	87
7.3	<b>RESULTADOS DE LA MODELACIÓN</b> .....	88
7.3.1	<i>Dominio de la simulación</i> .....	88
7.3.2	<i>Alcance meteorológico</i> .....	90
7.3.3	<i>Evaluación de desempeño del modelo</i> .....	94
7.3.4	<i>Distribución temporal de las concentraciones</i> .....	96
7.3.5	<i>Participación de las fuentes</i> .....	98
7.3.6	<i>Distribución espacial de las concentraciones</i> .....	102
8.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	106
9.	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	110

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Efectos observados a distintas concentraciones de dióxido de azufre .....	20
<b>Tabla 2:</b> Georeferenciación de las ocurrencias de incendio .....	26
<b>Tabla 3:</b> Formato de los incendios forestales .....	27
<b>Tabla 4:</b> Carga de Combustible para quemas agrícolas e incendios forestales .....	29
<b>Tabla 5:</b> Tasa de producción de contaminantes en kg/Mg .....	30
<b>Tabla 6:</b> Factores de Emisión para quemas agrícolas e incendios forestales .....	31
<b>Tabla 7:</b> Planilla de entrada de Arc View 3.2.....	32
<b>Tabla 8:</b> Factores de Equivalencia para las distintas categorías vehiculares.....	39
<b>Tabla 9:</b> Composición vehicular de Quillota.....	40
<b>Tabla 10:</b> Clasificación de los contaminantes .....	42
<b>Tabla 11:</b> Archivo de salida del modelo SATURN.....	45
<b>Tabla 12:</b> Archivo de entrada para el recorrido de flujo fijo.....	48
<b>Tabla 13:</b> Resumen de emisiones por Quemias Agrícolas y Quemias Forestales (kg/año) ..	62
<b>Tabla 14:</b> Identificación de Puntos de Control (PC) .....	68
<b>Tabla 15:</b> Composición flujo vehicular .....	70
<b>Tabla 16:</b> Emisiones Totales de vehículos en ruta, ton/año. La Calera.....	75
<b>Tabla 17:</b> Emisiones Totales de vehículos en ruta, ton/año. La Calera.....	76
<b>Tabla 18:</b> Emisiones Totales de vehículos en ruta, ton/año. Nogales .....	77
<b>Tabla 19:</b> Emisiones Totales de vehículos en ruta, ton/año. Nogales .....	78
<b>Tabla 20:</b> Emisiones Totales de vehículos en ruta, ton/año. Hijuelas .....	79
<b>Tabla 21:</b> Emisiones Totales de vehículos en ruta, ton/año. Hijuelas .....	80
<b>Tabla 22:</b> Parámetros de la grilla de cálculo .....	89
<b>Tabla 23:</b> Resumen de parámetros estadísticos, período de verano (enero).....	94
<b>Tabla 24:</b> Resumen de parámetros estadísticos, período de invierno (mayo).....	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Cobertura geográfica de la V Región y su zona en estudio (marcado en rojo), escala 1:250.000.....	3
<b>Figura 2:</b> Pasos requeridos para la evaluación de las emisiones en los incendios .....	28
<b>Figura 3:</b> Diagrama general estimación de emisiones.....	35
<b>Figura 4:</b> Red Vial modelada por SATURN .....	44
<b>Figura 5:</b> Medición de coordenadas UTM. ....	47
<b>Figura 6:</b> Diagrama de empalme de rutas.....	50
<b>Figura 7:</b> Emisiones por Quemas Agrícolas.....	62
<b>Figura 8:</b> Emisiones por Quemas Forestales .....	63
<b>Figura 9:</b> Emisiones de CO (Kg), año 2000 .....	64
<b>Figura 10:</b> Emisión de NO <sub>x</sub> (Kg.), año 2000.....	65
<b>Figura 11:</b> Emisión de TOG (Kg.), año 2000.....	65
<b>Figura 12:</b> Emisiones de PTS (Kg.), año 2000.....	66
<b>Figura 13:</b> Composición del flujo variable vehicular en La Calera .....	71
<b>Figura 14:</b> Composición del flujo fijo vehicular en La Calera.....	71
<b>Figura 15:</b> Composición del flujo variable vehicular en Nogales.....	72
<b>Figura 16:</b> Composición del flujo fijo vehicular en Nogales .....	72
<b>Figura 17:</b> Composición del flujo variable vehicular en Hijuelas.....	73
<b>Figura 18:</b> Composición del flujo fijo vehicular en Hijuelas.....	73
<b>Figura 19:</b> Representación gráfica del nivel de emisiones por contaminante para las comunas de Nogales, Hijuelas y La Calera. ....	81
<b>Figura 20:</b> Emisiones Fuentes Móviles, Nogales .....	82
<b>Figura 21:</b> Emisiones Fuentes Móviles, Hijuelas.....	83
<b>Figura 22:</b> Emisiones Fuentes Móviles, La Calera .....	83
<b>Figura 23:</b> Participación de la emisión total, comuna de Nogales. ....	85
<b>Figura 24:</b> Participación de la emisión total, comuna de Hijuelas. ....	85
<b>Figura 25:</b> Participación de la emisión total, comuna de La Calera.....	86
<b>Figura 26:</b> Comparación de las emisiones totales. ....	88
<b>Figura 27:</b> Uso del suelo del dominio simulado.....	90
<b>Figura 28:</b> Ciclo diario de SO <sub>2</sub> , Estación La Calera.....	91



<b>Figura 29:</b> Ciclo diario de Temperaturas, Estación La Calera .....	91
<b>Figura 30:</b> Ciclo diario de velocidad del viento, Estación La Calera.....	92
<b>Figura 31:</b> Ciclo diario de humedad relativa, Estación La Calera .....	92
<b>Figura 32:</b> Ciclo diario de presión atmosférica, Estación La Calera.....	93
<b>Figura 33:</b> Concentraciones predichas y observadas (17 – 22 mayo), La Calera .....	97
<b>Figura 34:</b> Concentraciones predichas y observadas (17 – 22 mayo), Hijuelas.....	97
<b>Figura 35:</b> Comparación de la modelación de todas las fuentes vs las fuentes móviles, mes de Enero, La Calera. ....	98
<b>Figura 36:</b> Contribución diaria de las fuentes puntuales y fuentes móviles, mes de Enero, La Calera. ....	99
<b>Figura 37:</b> Contribución total de las fuentes puntuales y fuentes móviles, mes de Enero, La Calera. ....	99
<b>Figura 38:</b> Comparación de la modelación de todas las fuentes vs las fuentes móviles, mes de Enero, Hijuelas. ....	100
<b>Figura 39:</b> Contribución diaria de las fuentes puntuales y fuentes móviles, mes de Enero, Hijuelas. ....	101
<b>Figura 40:</b> Contribución total de las fuentes puntuales y fuentes móviles, mes de Enero, Hijuelas. ....	101
<b>Figura 41:</b> Concentraciones de SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) simulada, 18/01 – 09 horas.....	103
<b>Figura 42:</b> Concentraciones de SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) simulada, 22/01 – 09 horas.....	103
<b>Figura 43:</b> Concentraciones de SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) simulada, 22/05 – 10 horas.....	104

## RESUMEN

La ciudad de La Calera y las ciudades adyacentes, Nogales e Hijuelas entre otras, se encuentran en una zona donde la actividad agrícola, vehicular e industrial tiene una gran importancia para el desarrollo regional. Entre las principales actividades industriales destacan fundiciones, refinería, termoeléctricas y planta cementera. Estas actividades generan problemas en la calidad del aire por la incorporación de diversos contaminantes entre los que destacan  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_3$  y material particulado. De allí que el objetivo general del presente estudio es determinar las zonas de impacto en la población que habitan en las ciudades de La Calera, Nogales e Hijuelas (V Región) por concentraciones de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ).

Además de las emisiones de dióxido de azufre, se presentan complementariamente las emisiones de otros contaminantes tales como  $\text{NO}_x$ , PTS, GOT y CO.

Para estimar las emisiones producidas por fuentes móviles, se utilizó la herramienta MODEM, desarrollada por SECTRA – MOPTT, en las tres ciudades mencionadas anteriormente. Tomando como base un estudio vial realizado para las ciudades de La Calera, Nogales e Hijuelas, los resultados del estudio vial fueron estructurados para poder ser ingresados al MODEM, y así generar reportes de las emisiones para los contaminantes de referencia en los distintos tipos de vehículos. De los resultados obtenidos, se puede desprender que las ciudades de La Calera y Nogales presentan las mayores emisiones de  $\text{SO}_2$ . En cuanto a las categorías vehiculares, estas emisiones son generadas principalmente por camiones y vehículos comerciales en las ciudades de Nogales e Hijuelas, en tanto que para la ciudad de La Calera, las principales emisiones son producidas por vehículos comerciales, camiones y buses.

Como otro alcance de la investigación, el reporte de las fuentes móviles para  $\text{SO}_2$ , se estructura para ser ingresado en un modelo de dispersión de contaminantes (CALMET – CAMx), del cual se obtienen resultados que indican que las mayores concentraciones se dan en la ciudad de La Calera, situación atribuible al aporte de emisiones de la industria Cemento Melón, ubicada en la ciudad. Por otro lado, se realizaron representaciones gráficas

de  $\text{SO}_2$ , generando curvas de concentración para tres días distintos para las épocas de invierno y verano e identificando, en una primera aproximación, las zonas de impacto en la salud de la población de estas ciudades.

## ABSTRACT

The adjacent city of the La Calera and cities, Nogales and Hijuelas among others, are in a zone where the agricultural activity, to vehicular and industrialist have a great importance for the regional development. Between the main industrial activities they emphasize smeltings, refinery, thermoelectrial and cement producing activities. These activities generate problems in the quality of the air by the incorporation of diverse polluting agents between which they emphasize SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> and particulado material. From which the general mission of the present study is to determine the zones of impact in the population that live in the cities of the La Calera, Nogales and Hijuelas (V Region) by sulfur dioxide concentrations (SO<sub>2</sub>).

In addition to the emissions of sulfur dioxide, the emissions of other polluting agents such as NO<sub>x</sub>, PTS, GOT and CO appear complementarily.

In order to consider the emissions produced by movable sources, was used the tool MODEM, developed by SECTRA-MOPTT, in the three mentioned cities previously. Taking as it bases a made road study for the cities of the La Calera, Nogales and Hijuelas, the results of the road study were structured to be able to be entered the MODEM, and thus to generate reports of the emissions for the reference polluting agents in the different types from vehicles. The obtained results, it is possible to be come off that the cities of the La Calera and Nogales present/display the greater emissions of SO<sub>2</sub>. As far as the categories vehicule, these emissions are generated mainly by trucks and commercial vehicles in the cities of Nogales and Hijuelas, whereas for the city of the La Calera, the main emissions are produced by commercial vehicles, trucks and bus.

As another reach of the investigation the previous report of SO<sub>2</sub>, is structured and entered into a dispersion model (CAMx). The results obtained from the model indicate that the only city with significantly high concentrations of SO<sub>2</sub> is La Calera, which is attributable to the important industrial sources situated in the city. Graphic representations of the concentrations of SO<sub>2</sub> were generated for three days during different seasons (summer and winter) and the identification of preliminary zones containing high

concentrations of SO<sub>2</sub> that would be negatively impacting the health of the population, were obtained.



# 1. INTRODUCCIÓN

## *1.1 Antecedentes Generales*

Hasta hace algunos años, tanto la calidad del aire como la forma en que se distribuían los contaminantes emitidos a la atmósfera representaban un misterio, dada la complejidad de poder explicar estos temas, debido a que involucran una serie de variables dinámicas interactuantes entre sí.

El gran avance en materia de la dinámica de la atmósfera experimentado recientemente, ha permitido profundizar estos estudios de calidad de aire, tomado gran relevancia a nivel mundial. En este contexto, Chile no se ha quedado atrás en esta temática, sobretodo por los esfuerzos de evitar que en Santiago se alcancen niveles críticos de contaminación atmosférica en gases y partículas.

Pero no solo en Santiago se realizan esfuerzos por frenar la contaminación que se produce de las emisiones antropogénicas, sino que en regiones, este tema presenta un mayor grado de interés, principalmente por la cercanía de las plantas industriales a los centros poblados y zonas agrícolas. Sin embargo, la compleja topografía que presenta el país hace que las zonas pobladas se encuentren en lugares en que la dispersión de los contaminantes no sea siempre favorable.

Tal como se mencionó anteriormente, no solo la ciudad de Santiago tiene problemas con la contaminación, también otras áreas urbanas que presentan altas densidades de población, las cuales se encuentran dentro de la zona centro – sur del país.

Una de las tres regiones donde se concentran altas densidades poblacionales la presenta la región de Valparaíso, las otras dos, corresponden a las regiones Metropolitana y del Bío – Bío.

En este caso en particular, la Región de Valparaíso es un polo de desarrollo importante tanto en el ámbito industrial como agrícola, siendo el Valle del Aconcagua uno de los territorios más importantes de la región y que concentran la mayoría de las ciudades de las cuales podemos destacar:

- El gran Valparaíso, conformado por las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar, Quilpué, y Villa Alemana
- Quillota, Limache
- La Calera, Nogales
- La Ligua

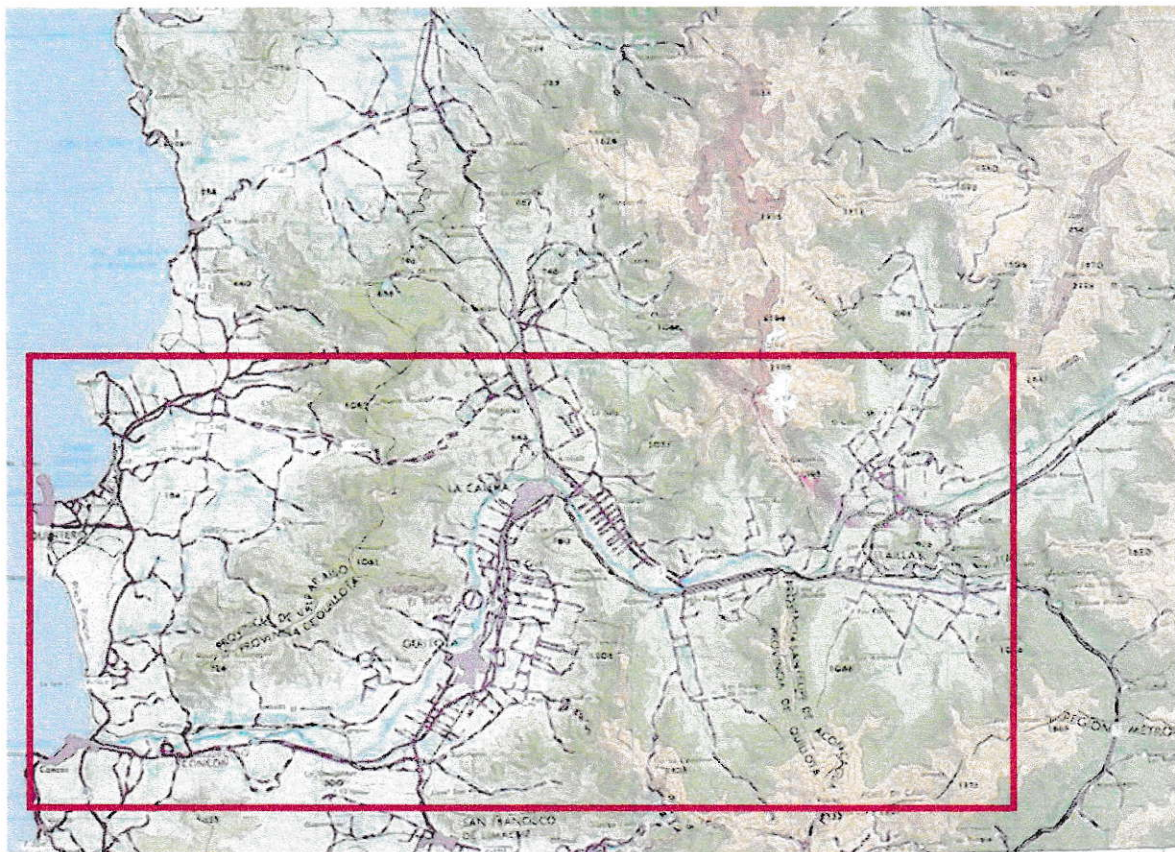
Junto con destacar a estas ciudades como centros de producción de contaminantes debido a la gran cantidad de vehículos que circulan por las vías de estas ciudades y a otras fuentes contaminantes que se generan dentro de ellas, se debe destacar también una serie de grandes industrias a escala nacional que se encuentran en la región, de las cuales podemos mencionar:

- Fundición de cobre de ENAMI
- Fundición de Cobre Chagres
- Refinería de petróleo de Concón (RPC)
- Plantas termoeléctricas Nehuenco y San Isidro
- Planta industrial de Cemento Melón



Por lo consiguiente, es importante conocer el comportamiento de las emisiones de las fuentes móviles y como se distribuyen estas fuentes a escala espacial, en el caso de este estudio, el comportamiento del dióxido de azufre en las ciudades de La Calera, Nogales e Hijuelas.

A continuación, en la figura 1 se muestra un mapa de la región de Valparaíso.



**Figura 1:** Cobertura geográfica de la V Región y su zona en estudio (marcado en rojo),  
escala 1:250.000  
Fuente: IGM

Como se mencionó anteriormente, la contaminación del aire proviene de una mezcla de miles de fuentes que van de chimeneas industriales y vehículos de motor hasta el uso

individual de limpiadores y pinturas domésticas. Para los propósitos de un inventario de emisiones, en general, las fuentes se agrupan en cuatro tipos diferentes:

- Fuentes fijas o puntuales
- Fuentes de área
- Fuentes móviles
- Fuentes naturales

## **2. OBJETIVO GENERAL**

El presente estudio tiene como objetivo general modelar la calidad del aire en la ciudad de La Calera, Hijuelas y Nogales considerando distintas fuentes de emisión de SO<sub>2</sub> que se produzcan dentro y fuera de las ciudades, mediante un modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos para luego estimar las contribuciones de las fuentes responsables e identificar posibles zonas donde se producen impactos en la salud para la población.

## **3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Recopilación de la información base de fuentes móviles con el propósito de efectuar y/o bien mejorar las estimaciones de emisiones para todos los tipos de actividades relevantes en la zona.
2. Generar el inventario de emisiones de fuentes móviles en la ciudad de La Calera, Nogales e Hijuelas en un formato que permitan la modelación de la calidad del aire para el contaminante dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).
3. Modelación de la calidad del aire de las tres ciudades, identificando las zonas de mayor impacto a la población.

#### **4. HIPÓTESIS PLANTEADA**

La hipótesis que se plantea en este trabajo está asociado a la aplicación de un modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos a las ciudades de La Calera, Nogales e Hijuelas para simular los efectos de la mezcla y transporte atmosféricos sobre las concentraciones de  $\text{SO}_2$  provenientes de las distintas fuentes principales responsables, fuentes fijas y fuentes móviles, e identificando zonas de alto impacto para la población y contribuciones de las fuentes a dichas zonas.



## 5. DESCRIPCIÓN DE LAS FUENTES EMISORAS

### 5.1 Fuentes Fijas o Puntuales

Primero se debe establecer una delimitación entre fuentes fijas y de área. Esta división es arbitraria pero muy necesaria para permitir la recopilación eficiente de la información. Es importante contar con información detallada sobre cada “punto” en el que se descargan emisiones a la atmósfera.

Si se tratan todas las plantas como fuentes puntuales se puede aumentar la exactitud del inventario pero se requerirán mucho más recurso para recopilar y mantener el inventario de fuentes puntuales.

Las fuentes puntuales también pueden ser especificadas de otras maneras. Entre éstas se incluye la siguiente definición de fuentes puntuales (considerando a todas las otras fuentes como fuentes de área):

- Fuentes de un tipo dado (e. g., unidad de reformación catalítica fluidizada) o tanto por tipo como por tamaño (e. g., caldera con un consumo de calor >10000 Btu/hr)
- Fuentes que emiten más de una cantidad especificada de emisiones determinada en alguna base consistente (e. g., calderas que emiten más de 100 toneladas anuales de NO<sub>x</sub>)
- Cualquier fuente (independiente del tipo, tamaño o emisiones) que se localice en una planta de un tipo dado (refinería de petróleo) o de un tipo y tamaño dado (e. g., fundición de acero con producción de acero superior a las 1000 toneladas anuales)

- Cualquier fuente (independiente del tipo, tamaño o emisiones) que se localice en una planta con una cantidad de emisiones más grande que la especificada determinada en alguna base consistente.

## 5.2 Fuentes de Área

Las fuentes de área representan las emisiones de fuentes que son demasiado numerosas y dispersas para ser incluidas de manera eficiente dentro de un inventario de fuentes puntuales. En conjunto, sin embargo, las fuentes de área son emisores significativos de contaminantes del aire, y dichos contaminantes deben ser incluidos en un inventario de emisiones para garantizar que este completo.

Entonces, por definición, las fuentes de área en general son pequeñas y numerosas. Por ejemplo, las gasolineras y establecimientos de lavado en seco a menudo son tratados como fuentes de área.

Una manera de definir las fuentes de área se basa en un nivel de emisión de un contaminante determinado en un establecimiento individual (por ejemplo, en Estados Unidos, si las emisiones de hidrocarburos *a nivel de establecimiento* para un contaminante determinado son menores a 10 toneladas anuales, o menores a 100 toneladas anuales de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO) o dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dicho establecimiento es considerado como fuente de área).

Un inventario de fuentes de área, en general, consiste de las siguientes y amplias categorías:

- Combustión de fuente estacionaria (e. g., combustión doméstica)
- Fuentes móviles que no circulan por carreteras (e. g., trenes y equipo móvil)

- Uso de solventes (e. g., pequeñas operaciones de recubrimiento de superficies)
- Almacenamiento, transporte y distribución de productos (e. g., gasolina)
- Fuentes industriales ligeras y comerciales
- Agricultura (e. g., corrales de engorda, quemas agrícolas)
- Manejo de residuos (e. g., rellenos sanitarios)
- Fuentes de áreas misceláneas (e. g., incendios forestales, erosión eólica, caminos no pavimentados)

Cada una de estas categorías esta integrada por subcategorías de fuentes más específicas, que son definidas por un proceso de emisión similar, o bien por la similitud de los métodos para una mejor estimación de las emisiones.

### *5.3 Fuentes Móviles*

Las fuentes móviles que circulan por carreteras son aquellos como los automóviles, camiones y locomoción colectiva. En la mayor parte de las áreas urbanas los vehículos automotores contribuyen en gran medida a las emisiones de GOT, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, partículas, compuestos tóxicos del aire y especies que reducen la visibilidad.

Debido a la magnitud de sus emisiones y a las consideraciones especiales que se requieren para hacer estimaciones de dichas emisiones, los vehículos automotores se tratan separadamente de otras fuentes.

Las emisiones de las fuentes móviles consisten en un gran número de contaminantes resultantes de varios procesos diferentes. Las emisiones más comúnmente considerados son las del tubo de escape, que resultan de la combustión y se emiten por el tubo de escape del



vehículo y las que provienen de varios procesos de emisión evaporativa entre las que destacan:

- Emisiones por remojo en caliente debido a la volatilización del combustible en el sistema de distribución después de apagar el motor,
- Emisiones evaporativas durante la marcha provenientes de fugas de combustible, líquido o vapor que ocurre cuando esta operando el motor,
- Emisiones diurnas que se producen en el tanque de combustible del motor debido a la mayor temperatura de la masa del líquido y a la presión de vapor,
- Emisiones evaporativas en reposo las que se presentan cuando el motor no está en operación y se deben sobre todo a fugas de combustible y a la permeación de vapor a través de las líneas del combustible
- Emisiones evaporativas durante la recarga de combustible las que se producen desde el tanque de combustible durante la recarga.

#### *5.4 Fuentes Naturales*

Las emisiones al aire de las fuentes naturales incluyen las siguientes sustancias químicas: compuestos orgánicos volátiles (VOC), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y gases de invernadero tales como metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), ozono ( $\text{O}_3$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

Las fuentes de emisión para todos estos gases ocurren en forma natural en los suelos y en la vegetación, y en ecosistemas marinos, como resultado de la actividad geológica en la forma de géiser o volcanes, como un resultado de la actividad meteorológica tales como relámpagos y desde la fauna como las termitas y los animales rumiantes.

Las emisiones resultantes desde la actividad antropogénica, los cuales se asocian a la industria de la agricultura y también se incluyen dentro de esta definición, al uso de fertilizantes con las emisiones de los disparadores de la actividad microbiana y la quema de biomasa agrícola.

Las fuentes biogénicas, es un subconjunto de las fuentes naturales, incluyen solamente esas fuentes que resulten de una cierta clase de actividad biológica. Las emisiones biogénicas representan una porción significativa de las emisiones de las fuentes naturales y los VOC, NO<sub>x</sub>, y los gases del invernadero discutidos arriba se pueden todos emitir de fuentes biogénicas también.

La vegetación es la fuente biogénica predominante de VOC y es típicamente la única fuente que es usada para estimar emisiones biogénicas de VOC. La actividad microbiana es responsable de las emisiones de NO<sub>x</sub> y los gases de invernadero de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. La actividad microbiana en el suelo es responsable de las emisiones de NO<sub>x</sub> y N<sub>2</sub>O desde los terrenos agrícolas. El CH<sub>4</sub> es emitido a través de la acción microbiana en suelos pantanosos o de otros microambientes anaeróbicos. El CO<sub>2</sub> esta relacionado a través del decaimiento de biomasa (EPA, 1993; EPA, 1990a).

### *5.5 Contaminación Atmosférica a Escala Forestal*

La contaminación atmosférica a escala forestal o la contaminación producida por los incendios forestales se pueden dividir dentro de dos grandes clases, las cuales son:

- Incendios
- Quemas prescritas

Los incendios, son causados por la naturaleza (relámpagos, etc.) o por actos accidentales o maliciosos del hombre, los cuales no están planificados por manejo forestal y no ocurren bajo condiciones controladas.

Estos pueden ser relativamente calmados, consumiendo solamente unas pocas hectáreas y quemando solamente superficies, o ser tormentas de fuego catastróficos consumiendo grandes superficies de hectáreas. Algunos incendios causan severos daños a la vida y a la propiedad como también a los árboles, la vida salvaje, suelos, agua y a los recursos acuáticos.

Cuando un incendio es usado para realizar una planificación de un bosque con un área definida bajo condiciones de clima, combustible y técnicas de ignición, el proceso es llamado quema prescrita [1].

Sobre la base de las definiciones anteriores, un incendio puede parecer una quema prescrita si se produce bajo control y se permite para que continúe en un área designada para un manejo objetivo del terreno específico. En un amplio sentido, algunos incendios son beneficiosos y necesarios para preservar la ecología de los bosques en donde se produce. El aumento del uso de la quema prescrita ha sido en parte responsable para la disminución en la frecuencia y extensión en acres de los incendios. Los mayores beneficios que incluyen las quemas prescritas son [1]:

- Reducción en la acumulación de combustible peligroso (forma de prevención del fuego)
- Control de especies indeseables
- Preparación de áreas para la plantación y la germinación
- Mejoramiento del forraje

- Mejora en el hábitat de la vida salvaje
- Control de las enfermedades



La intensidad y el tamaño, como la ocurrencia de un incendio depende directamente de un número de variables, las cuales son las condiciones meteorológicas, las especies de vegetación envueltas y el contenido de humedad y la carga de combustible consumido por acre (carga de combustible disponible) [2].

Una vez comenzado el fuego, el material seco es consumido primero. Si la energía escapa es grande y de suficiente duración, ocurre que el material vivo se seca, con la consecuencia que este material también se queme. Bajo propiedades ambientales y condiciones de combustible, este proceso puede hincar un cambio en la reacción que resulta en una conflagración extendida [2].

La combustión completa del terreno silvestre (bosques, terrenos con pasto, terrenos húmedos) requiere un flujo de calor (gradiente de temperatura), un adecuado suministro de oxígeno y un suficiente tiempo de quemado. El tamaño y la cantidad de combustible en los terrenos silvestres, las condiciones meteorológicas y los rasgos topográficos que interactúan para modificar el comportamiento de la quema como también la amplitud del fuego, el incendio podría alcanzar diferentes grados de eficiencia de combustión durante su duración [2].

### *5.6 Contaminación Atmosférica por Transporte Urbano*

Como se mencionó anteriormente, las áreas urbanas con altas densidades poblacionales se encuentran generalmente expuestas a serios problemas de calidad del aire, donde la actividad del sector transporte juega un papel muy importante [1]. Existen varias



recomendaciones propuestas para las grandes ciudades en países en desarrollo [2-4], las cuales intentan resolver los problemas de la contaminación atmosférica, especialmente aquellos derivados del tráfico. No obstante, un requisito previo para la introducción de medidas o instrumentos de control y abatimiento es el levantamiento de un detallado inventario de emisiones que cubra la zona afectada, con alto nivel de desagregación espacial y temporal [1].

La modelación de contaminantes atmosféricos emitidos por fuentes móviles en zonas urbanas requiere de información detallada que describa la actividad del tráfico en el área de estudio [5]. Esta información puede provenir de mediciones directas, encuestas de tráfico, o modelos de transporte para una red vial predeterminada [6,7].

Un adecuado procesamiento de estos distintos tipos de información permite calcular las emisiones asociadas a la actividad del sector transporte, todo ello en conjunto con factores de emisión de contaminantes para las distintas categorías vehiculares consideradas [8-10].

La información sobre actividad de tráfico obtenida por mediciones directas y/o encuestas está limitada a un instante de tiempo y localización geográfica específicos, más un desfase con el tiempo real debido al arduo procesamiento de la información recolectada, sin embargo, estos modelos estratégicos de transporte, que cubren dominios urbanos completos no contienen toda la información requerida para compilar un inventario de emisiones detallado, siendo necesario apoyar los datos del modelo de transporte con estadísticas de tráfico, en particular relacionadas con variación temporal de flujos y comportamiento de la partición modal [6].

La representación o modelación del tráfico urbano, se requiere una detallada descripción de las emisiones de compuestos contaminantes generados por los distintos tipos de tecnología vehicular presentes en la flota bajo estudio. El enfoque tradicional emplea factores de emisión, que permite conocer la masa de contaminante por kilómetro recorrido a partir del tipo de vehículo y su velocidad media de desplazamiento. Algunos autores han destacado la importancia que tiene la variación de la velocidad en un determinado ciclo, expresándose esta variabilidad como aceleración media positiva [11], número de detenciones por ciclo [12], factores de corrección de velocidad [12] o una combinación entre velocidad y aceleración ( $m^2/s^3$ )[14,15].

La representación de factores de emisión puede incluir varios efectos, siendo los más importantes los siguientes:

- emisiones en caliente
- emisiones evaporativas
- emisiones por partidas en frío
- emisiones por deterioro
- emisiones a nivel de mantención
- tipo y calidad del combustible
- tecnología del vehículo
- hábitos de conducción
- gradiente del terreno, etc.

Existen varias metodologías de estimación de emisiones asociadas al transporte urbano que combinan estos efectos, principalmente provenientes de Europa y Estados Unidos. Europa a desarrollado amplios proyectos destinados a desarrollar estos modelos,

uno de los cuales corresponde a MEET (Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport), en conjunto con COST Action 319 (Estimation of pollutant emissions from transport). Los resultados principales de MEET y COST Action 319 permitieron el desarrollo del modelo COPERT en sus versiones II y III [16], el cual es utilizado en este modelo de emisiones.

Las razones de actualizar o generar un inventario de emisiones se deben entre otras razones a una identificación de las contribuciones de las emisiones por categoría de fuente o por fuente específica, también en estimar los impactos de la calidad del aire a través de estudios modelados.

### *5.7 Breve Descripción de los Modelos de Dispersión de Contaminantes*

Los distintos modelos que existen se basan en suposiciones y elaboraciones teóricas muy distintas que han de redundar en resultados, a su vez, distintos. Los principales modelos se enuncian a continuación:

- Modelos gaussianos: este tipo de modelos se han basado, como su nombre lo indica, en la ecuación de dispersión gaussiana. Esta ecuación implica una alta cantidad de simplificaciones y suposiciones que los hacen altamente eficientes en el uso de recursos, pero en desmedro de la calidad de las simulaciones. Algunos de los modelos de este tipo son el SCREEN3, FDM, CALINE, CTDMPLUS y AERMOD;
- Modelos tipo “Puff”: la característica principal de estos modelos es que las emisiones se consideran como nubes independientes, “puffs”, que funcionan como una unidad en la que varía su concentración y tamaño con la distancia y el tiempo. La información que exigen estos modelos es de mayor precisión que para los modelos gaussianos, exigiendo



detallados datos acerca de los campos de viento, especialmente. Aquí encontramos modelos tales como el AVACTA II, MESOPUFF II y CALPUFF entre otros;

- Modelos de caja lagrangeanos: en estos modelos se utiliza una masa de aire la cual es transportada por los campos de vientos. Se consideran a su vez las emisiones de contaminantes, reacciones químicas, depositación y múltiples contaminantes. Aquí podemos mencionar modelos como el EKMA, RADM, PLMSTAR y DIFKIN;
- Modelos de grilla eulerianos: estos modelos utilizan grillas tridimensionales donde se resuelven las ecuaciones de conservación de masa para una o más especies. Utilizan inventarios de emisiones desagregados espacial y temporalmente, condiciones iniciales y de borde y una meteorología tridimensional definida para los puntos de la grilla. Aquí encontramos modelos como el UAM, CAMx, CMAQ, CALGRID, etc. (Jorquera ,2001)

Sin importar el tipo de modelo utilizado, una amplia cantidad de información debe ser ingresada, mas es a la vez muy amplia la diferencia en las exigencias de datos para cada tipo de modelo. Por ejemplo, todos los modelos exigen mediciones meteorológicas superficiales pero no todos las requieren en altura. Dada la estructura de cálculo de los modelos eulerianos, son estos los que exigen la mayor entrada de datos tomados de mediciones meteorológicas. A pesar de lo anterior, modelos complejos de modelación de campos de vientos, como el CALMET, tienen cierta flexibilidad en cuanto a la información necesaria, es decir, dan la opción de realizar modelaciones de mayor o menor calidad dependiendo de la cantidad de información que se disponga.

Para los datos superficiales, la tecnología de medición ha evolucionado enormemente en los últimos años y es posible conseguir en el mercado estaciones

meteorológicas portátiles y automatizadas a bajo costo, es decir, dentro de un presupuesto de un Proyecto de Ingeniería, por ejemplo. (Castro, 2001)

En opuesta situación se encuentra la recolección de datos meteorológicos en altura. Para obtener estas mediciones se requieren costosos implementos (globos sonda, instrumentos acústicos y ópticos) para describir los perfiles de temperatura, viento y humedad. Otra opción, que por cierto es mucho más barata, es la de generar estos datos a través de modelaciones como las que entrega el HIRLAM, pero su uso debe restringirse por la clara determinación de los errores implícitos de estas simulaciones que pocas veces son precisos.

Debido a lo anterior en esta memoria se utilizó 1 estación de medición superficial (más barata y de fácil obtención) mientras que los datos en altura fueron obtenidos a partir de archivos de datos generados por el modelo HIRLAM (disponibles en el CENMA) y exportados a través del software visualizador GRADS.

### *5.8 Efectos de la Contaminación en la Salud*

El aire que respiramos está formado por muchos componentes químicos. Los componentes primarios del aire son el nitrógeno ( $N_2$ ), oxígeno ( $O_2$ ) y vapor de agua. En el aire también se encuentran pequeñas cantidades de muchas otras sustancias, incluidas el dióxido de carbono, argón, neón, helio, hidrógeno y metano.

En teoría, el aire siempre ha tenido cierto grado de contaminación. Los fenómenos naturales tales como la erupción de volcanes, tormentas de viento, descomposición de las plantas y animales e incluso los aerosoles emitidos por los océanos “contaminan” el aire.

Sin embargo, cuando se habla de la contaminación del aire, los contaminantes son aquellos generados por la actividad del hombre (antropogénicos). Se puede considerar

como contaminante a la sustancia que produce un efecto perjudicial en el ambiente. Estos efectos pueden alterar tanto la salud como el bienestar de las personas.

Las actividades humanas han tenido un efecto perjudicial en la composición del aire. La quema de combustibles fósiles y otras actividades industriales han cambiado su composición debido a la introducción de contaminantes, incluidos el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), partículas sólidas y líquidas conocidas como material particulado. Aunque todos estos contaminantes pueden ser generados por fuentes naturales, las actividades humanas han aumentado significativamente su presencia en el aire que respiramos.

Hay cientos de contaminantes en el aire que se presentan en forma de partículas y gases. El material particulado está compuesto por pequeñas partículas líquidas o sólidas de polvo, humo, niebla y ceniza volante. Los gases incluyen sustancias como el monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y dióxido de azufre, éste último de importancia para las fuentes que utilizan combustibles fósiles, en particular el carbón.

### *5.9 Óxidos de Azufre ( $\text{SO}_x$ )*

Los óxidos de azufre son gases incoloros que se forman al quemar azufre, es un gas fuertemente irritante para el sistema respiratorio humano. El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) es el contaminante criterio que indica la concentración de óxidos de azufre en el aire. La fuente primaria de óxidos de azufre es la quema de combustibles fósiles. En la siguiente tabla se muestran los efectos en la salud humana por exposición a dióxido de azufre.



**Tabla 1:** Efectos observados a distintas concentraciones de dióxido de azufre

<b>Concentración en 24 horas (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Efecto Observado</b>
400 – 900	Posible incremento de los síntomas respiratorios (tos, irritación de la garganta y silbidos en el pecho) en personas con asma.
500 – 1700	Incremento de los síntomas respiratorios en personas con asma y posible agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas.
1700 – 2300	Incremento significativo de los síntomas respiratorios en personas con asma y agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas.
2300 – 2900	Síntomas respiratorios severos en personas con asma y riesgo serio de agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas.
> 2900	Cambios en la función pulmonar y síntomas respiratorios en individuos sanos.

Tiene un potente efecto constrictor del árbol bronquial y disminuye severamente la capacidad respiratoria, especialmente en personas que sufren de asma y otros portadores de enfermedades respiratorias.

Además, puede transformarse con facilidad en ácido sulfúrico, también intensamente irritante. Dependiendo de las concentraciones existentes y del tiempo de exposición puede producir daños severos e irreparables en la función pulmonar.

Este contaminante rara vez se presenta aislado y una de las características que presenta el dióxido de azufre es la potenciación de sus efectos cuando se asocia con partículas o humedad del aire. En estos casos sus efectos irritativos aumentan, y lo mismo ocurre cuando se asocia a ozono (u otros contaminantes fotoquímicos) o a óxidos de nitrógeno. Este efecto de potenciación se conoce como efecto sinérgico, porque la combinación de sustancias produce un efecto mayor que la suma individual del efecto de cada sustancia.



Los óxidos de azufre también son responsables de algunos efectos sobre el bienestar público. El de mayor preocupación es la contribución de óxidos de azufre a la formación de lluvia ácida que puede perjudicar lagos, la vida acuática, materiales de construcción y la vida silvestre.

## 6. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología aplicada se divide en 3 etapas:

- Metodología aplicada a incendios forestales y quemas agrícolas
- Metodología aplicada a fuentes móviles
- Metodología aplicada al modelo de dispersión CALMET-CAMx

### 6.1 Metodología para Incendios Forestales y Quemias Agrícolas

#### 6.1.1 Recopilación de los datos de CONAF V Región

El programa de Manejo del Fuego de la Corporación Nacional Forestal V Región (CONAF V Región) genera la información base obtenida a través de la fiscalización que se realiza por aire y tierra a las quemias ilegales, incendios y las inscripciones que hacen en el caso de las quemias autorizadas.

Esta información, está disponible anualmente en CONAF V Región, en tres tipos de base de datos distintos, siendo:

- *Quemias ilegales*: que corresponden a la fiscalización de quemias agrícolas y de otros tipos de quemias que se llevan a cabo, principalmente, en el período comprendido entre los meses de mayo y octubre de cada año y que corresponde al período de invierno. La detección de estas quemias se realiza por inspectores de ese servicio.

La información que maneja CONAF V Región de las quemias ilegales es muy poca dado que según el personal, no se producen o no son detectadas.

- *Quemias legales*: corresponden a las inscripciones que se realizan en diversas oficinas comunales para anunciar la quema de desechos agrícolas y otros desechos.

Se realizan principalmente entre los meses de noviembre y abril y que corresponde al período de verano.

La información ha sido traspasada a archivos anuales, en los cuales se incluyen la superficie afectada a la quema, el tipo de superficie quemada (ya sea agrícola, forestal u otra superficie no clasificada) y el número de quemas que se realizan a nivel comunal.

- *Incendios forestales*: la información corresponde al registro de incendios detectados en cada temporada seca, entre los meses de noviembre y mayo principalmente.

La información incluye los registros de ubicación geográfica, fecha de ocurrencia, superficies de diferentes tipos de vegetación afectadas.

### **6.1.2 Revisión de la información obtenida**

Para realizar el proceso de estimación de cálculo de emisiones a la atmósfera desde los incendios forestales y las quemas agrícolas es necesario realizar una previa revisión de la información disponible, identificando la estructura y los contenidos de los archivos e información entregados.

Se traspasaron los tipos de archivo a planillas Excel. Por otro lado, se revisó la estructura y la nomenclatura usada para cada uno de ellos. Se encontraron registros con información incompleta, que no permiten estimar emisiones.

Los datos disponibles en CONAF V Región corresponden a archivos anuales para los distintos tipos de quemas, las cuales son:

- Quemas legales, período noviembre – abril
- Incendios forestales, principalmente período estival (noviembre – mayo).

- Quemadas ilegales, no se informa, ya que no hay información por no ser detectadas o no son informadas.

### **6.1.3 Validación del código GEOREF**

La validación de los códigos ingresados a georeferenciación se realiza por medio de planillas Excel. Estos códigos ingresados por personal de CONAF V Región son verificados según corresponda con el mapa que se encuentra dividido en mallas regulares y en donde aparecen los códigos a anotar para georeferenciar los eventos, esto quiere decir, que corresponda la asignación alfabética con la asignación numérica. Una vez realizado esto, se asignan a los códigos los valores reales para poder ser georeferenciados en una grilla UTM sobre la V Región.

### **6.1.4 Georeferenciación de los eventos**

La información de georeferenciación se ingresa a la base de datos considerando la superposición de dos mallas regulares sobre la V Región, la que se encuentra en un mapa a una escala 1:250.000. Una de ellas se traza a partir de la división del territorio considerando latitud y longitud cada 15 minutos, correspondiendo a la división del territorio ilustrada en las cartas 1:50.000.

Para cada una de estas subdivisiones es asignado un par de letras que se ordenan alfabéticamente de norte a sur y de oeste a este, siendo los pares de letras los siguientes para la V Región: AA, AB, AC, AD, AE, AF, AG, AH, AI, AJ, AK, AL, AM, AN, AO, AP, AQ, AR, AS, AT, AU, AV, AW, BA, BC, BD, BH, BI, BN, BO, BP. La otra malla se traza manteniendo una equidistancia de dos kilómetros, generando así una matriz regular de dos por dos kilómetros, correspondiendo a la cuadrícula Universal Transversal de Mercator (UTM) con espaciamiento de 2.000 m.



Cada una de las nuevas áreas se designan con dos pares de números, siendo uno de ellos un número de dos cifras de tipo impar en orden descendente de norte a sur que va de 0 a 99, debiendo ser estos valores anteceditos por 62, 63 ó 64 para poder ser correspondidos con la malla UTM en km, y el otro un número de dos cifras de tipo par en orden ascendente de oeste a este, siendo éste también de 0 a 99, debiendo ser estos valores anteceditos por 2 ó 3 para poder ser correspondidos con la malla UTM en km.

Por lo tanto, la forma de georeferenciar los eventos se realiza con la combinación de los tres parámetros antes mencionados, siendo el primer código las letras y luego las coordenadas, como por ejemplo BO-45-68, entendiéndose que se trata de un evento localizado en la subdivisión correspondiente a las letras BO y dentro de éstas en las coordenadas 45 con 68, es decir, en 6.245.000 m de latitud sur con 268.000 m de longitud oeste.

#### **6.1.5 Calidad de la información obtenida**

Con relación a la calidad de la información obtenida y disponible se puede decir que es buena con respecto a las coordenadas numéricas y la división asignada a los pares de letras como también la información entregada de los incendios forestales. No así, con la información de las quemas agrícolas, las cuales no se encuentran georeferenciadas y se puede obtener un detalle máximo de cantidad de hectáreas quemadas por mes.

El tipo de información que maneja CONAF V Región en materia de quemas agrícolas son archivos de tipo Excel, sin asociación de coberturas para ser representadas a escala gráfica.

Con relación a este punto, se muestra el tipo de información que maneja CONAF V Región para las coberturas de la V Región en relación a los incendios forestales en las tablas 2 y 3.

**Tabla 2:** Georeferenciación de las ocurrencias de incendios.

incendio2000	
200005C0049AV3778A	200005C0051BC1178C
200005C0050AV4366A	200005C0052BH7766C
200005C0053AV4378B	200005C0054AV4366B
200005C0055BH7160C	200005C0056AU3956B
200005C0057AV4368E	200005C0058AV3978D
200005C0059BH8358A	200005C0060AP4968C
200005C0061BH7766C	200005C0062AV4368B
200005C0063AU3350B	200005C0064AV4368C
200005C0065AV4378B	200005C0066AV4366B
200005C0067AV4178B	200005C0068BH8358B
200005C0069AP4968A	200005C0070AV3974D
200005C0071AV4372C	200005C0072AU4366C
200005C0073AV3976A	200005C0074AV4170C
200005C0075AU3758B	200005C0076BC0368B
200005C0077AV4368C	200005C0079AV4368D
200005C0080BH7760D	200005C0078AV3778C
200005C0081AV4378B	200005C0082AV4170B
200005C0083BC0782D	200005C0084AP4766B
200005C0085AV4380B	200005C0086AV3778B
200005C0087AV4366A	200005C0088AP4778B
200005C0089AO5166C	200005C0090AV4368D
200005C0091AV4374C	200005C0092AV3576D
200005C0093AV4380C	200005C0094AV1972D
200005C0096AU3960A	200005C0095AU4366A

*Fuente: CONAF V Región, Programa Manejo del Fuego*

**Tabla 3:** Formato de los incendios forestales

CORPORACION NACIONAL FORESTAL PROGRAMA MANEJO DEL FUEGO													
RELACION DE INCENDIOS FORESTALES F - 118 CONAF											FECHA MES : ABRIL Desde : 01 Hasta : 31		
REGION : 05 DE VALPARAISO TEMPORADA : 1999 - 2000													
DIA	COMUNA	INCENDIO INRO.	INCENDIO NOMBRE	SUPERFICIE PLANTACIONES			FORESTAL VEGETACION			OTRAS	TOTAL		
				PINO	EUCALIPTO	OTRAS	TOTAL	ARBOLADO	MATORRAL		PASTIZAL	FORESTAL	AFECTADA
01	05407	826	PARADERO 7 OL					.12	.08	.20	.20	.20	X
01	05501	828	PEZOA VELIZ						.02	.02	.02	.02	X
01	05502	827	LAJARILLAS	.06		.06			.04	.04	.10	.10	X
01	05501	829	LA ISLA		.15		.05	.70	.75	.90	.90	.90	X
02	05501	830	CURAUMLLA	3.00		3.00	1.00	1.00	2.00	5.00	5.00	5.00	X
02	05407	831	EL ALMENDRAL					.20	.10	.30	.30	.30	X
02	05501	832	CERRO MARIPOS		.06	.06			.04	.04	.10	.10	X
02	05501	833	RFLP						.05	.05	.05	.05	X
03	05601	834	BELLAVISTA				1.00	2.00	3.00	3.00	3.00	3.00	X
03	05501	835	RFLP LAS HUAL									.01	X
03	05506	836	LOS COLIGUES						.01	.01	.01	.01	X
04	05602	837	CAMINO A CART					2.00	3.00	5.00	5.00	5.00	X
04	05501	838	PLAYA CHICA	.01		.01	.01		.02	.03	.04	.04	X
05	05601	839	CAMINO A CART		3.00	3.00		.01	1.00	1.00	4.00	4.00	X
05	05601	840	CAMINO A CART		.02	.02			.03	.03	.05	.05	X
05	05504	841	FUNDO EL REBA					.01	.02	.03	.03	.03	X
05	05601	842	BELLAVISTA		.80	.80			.20	.20	1.00	1.00	X
05	05501	843	LAS DOCAS						.02	.08	.10	.10	X
06	05502	844	EXPRESOS VINA						.02	.05	.07	.07	X
07	05501	845	LA ISLA					.04	.18	.22	.22	.22	X
08	05602	846	PUERTO NUEVO						.06	.06	.06	.06	X
09	05406	847	LOS LEONES					.80	.80	.80	.80	.80	X
09	05501	848	PENABLANCA					.01	.02	.03	.03	.03	X
10	05502	849	RENACA ALTO					.03	.05	.08	.08	.08	X
10	05601	850	HUALLIPEN						.05	.05	.05	.05	X
10	05502	851	SIETE HERMANA		.05	.05			.02	.08	.10	.10	X
11	05601	852	VIUDA VI					.01	.01	.02	.02	.02	X
11	05502	853	SIETE HERMANA		.01	.01			.02	.04	.06	.06	X
11	05603	854	FUNDO LAS GAV					.10	.20	.30	.30	.30	X
12	05602	855	VISTA HERMOSA		1.50	1.50		.20	.30	.50	.50	.50	X
12	05407	857	OLMUE						.20	.30	.50	.50	X
12	05504	856	LOS LUNES						.05	.10	.15	.15	X
12	05605	858	PUENTE SEMINA						.03	.02	.05	.05	X
12	05601	859	PELANCURA			.80			.20	.20	1.00	1.00	X
17	05601	860	CERRO LA VIRG						.08	.08	.08	.08	X
21	05601	861	SAN JUAN		1.00	1.00		.50	2.50	3.00	4.00	4.00	X
21	05601	862	CAMINO CARTAG		.50	.50			1.00	1.00	1.50	1.50	X
22	05601	863	CAMINO CARTAG		.03	.03			.05	.05	.08	.08	X
23	05601	864	EL MIRADOR		2.00	2.00		1.00	1.00	2.00	4.00	4.00	X
23	05601	865	FDO MIRADOR			.03			.01	.01	.04	.04	X
29	05501	866	RNLP LOS CORR			.08					.08	.08	X
TOTALES				3.07	10.03	13.10	.31	6.32	15.30	21.93	35.03	1.41	36.44

Fuente: CONAF V Región, Programa Manejo del Fuego

### 6.1.6 Metodología de cálculo

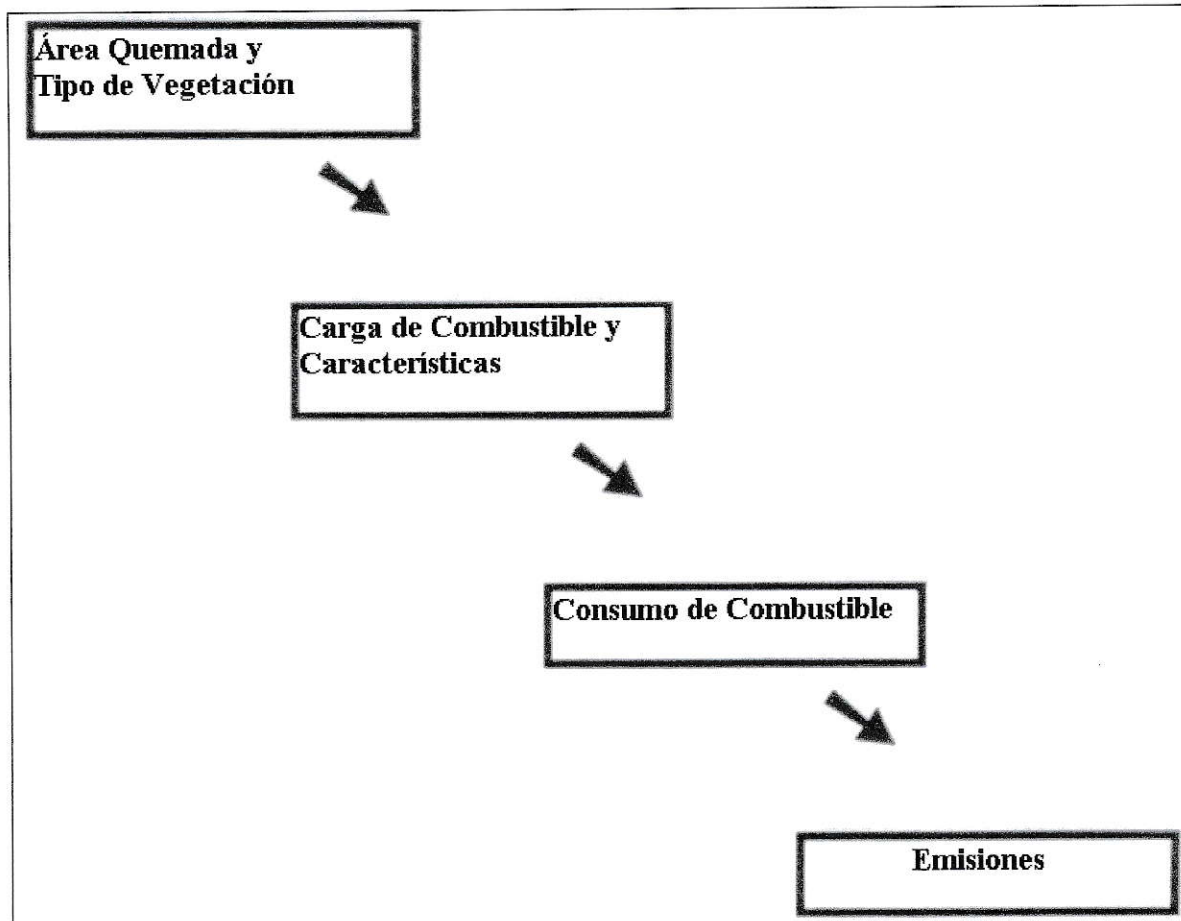
Las emisiones se calculan a partir del tipo de material que se quema y la superficie afectada y se utilizan los factores de emisión para cada tipo de material.

Los pasos a seguir para la estimación de emisiones son:

1. Obtención de toda la información disponible: archivos de incendios forestales y de quemas agrícolas.
2. Procesamiento estadístico de las bases de datos, con el fin de caracterizar la ocurrencia de quemas, tipos de combustible, superficies afectadas, días y ubicación geográfica.

3. Cálculo de emisiones utilizando los factores de emisión para incendios en áreas agrícolas y forestales.

En la siguiente figura se muestran en forma general los pasos requeridos para la estimación de las emisiones.



**Figura 2:** Pasos requeridos para la evaluación de las emisiones en los incendios  
*Fuente: Development of Emissions Inventory Methods for Wildland Fires, USEPA, 2002*



### 6.1.7 Factores de emisión

Los factores de emisión propuestos por la U.S.EPA en la publicación del documento AP-42, se estiman a partir de la carga de combustible presente en diferentes tipos de superficie.

Las cargas de combustible consumido por incendios forestales se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 4:** Carga de Combustible para quemas agrícolas e incendios forestales

TIPO	CARGA DE COMBUSTIBLE (C.C.)	
	Ton/Acre	Mg/Hectárea
<i>Quemas Agrícolas (Hierbas y bosques)</i>	2	4,95
<i>Incendios Forestales (Madera y Ramas)</i>	15	37,128

Fuente: California Air Resources Board, 1994.

Estos valores de carga de combustible (C.C.) son estimados por la CDF (California Department of Forestry), el cual divide el número de hectáreas (acre o hectárea) quemadas en cada estado en cinco categorías, las cuales son:

- Madera
- Bosque
- Hierba
- Rama
- Productos agrícolas

Estos factores de carga de combustible representan la cantidad de material aguardado para arder por hectárea, y no representan necesariamente el total de vegetación por hectárea.

Los factores de emisión propuestos por EPA se estiman según:

$$Fi = pi * L \quad (1)$$

y las emisiones totales se estiman según:

$$Ei = Fi * A \quad (2)$$

donde:

Fi: factor de emisión para el contaminante “i” (masa / unidad de área quemada)

pi: tasa de producción de contaminante “i” (masa / unidad de combustible),

L: carga de combustible consumido (masa de combustible / unidad de superficie quemada)

A: superficie quemada (hectárea)

E<sub>i</sub>: emisión total del contaminante “i” (masa)

Los valores correspondientes a la tasa de producción de contaminante se presentan en la tabla 5.

**Tabla 5:** Tasa de producción de contaminantes en kg/Mg

<b>Contaminante</b>	<b>Masa / unidad de combustible (kg/Mg)</b>
Material particulado	8,5
CO (monóxido de carbono)	70
HCT (hidrocarburos totales)	12
NOx (óxidos de nitrógeno)	2

*Fuente: Elaboración propia*

Como se mencionó anteriormente, en California se utilizan algunos factores de emisión específicos, los cuales son utilizados dado su similitud con la geografía del país y que se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6:** Factores de Emisión para quemas agrícolas e incendios forestales

CONTAMINANTE	FACTORES DE EMISIÓN (Kg/Ha)	
	<i>Quemas agrícolas (Pastos y Bosques)</i>	<i>Incendios Forestales (Madera y Rama)</i>
<i>CO</i>	224,98	4343,04
<i>NO<sub>x</sub></i>	-	66,82
<i>TOG</i>	42,32	464,00
<i>PTS</i>	35,64	701,58

*Fuente: Elaboración propia.*

De acuerdo a los datos con que se cuenta, se utilizan los valores que se mencionan en la tabla 6 para quemas agrícolas e incendios forestales para los años 2000 y 2001.

### 6.1.8 Representación gráfica de las incidencias

Como se mencionó anteriormente, las quemas agrícolas no se encuentran georeferenciadas, no obstante, para el caso de los incendios forestales, éstas pueden georeferenciarse mediante los archivos que se presentaron anteriormente (ver tablas 2 y 3), y se puede construir un archivo de entrada que sirve para ser ingresada al software ArcView GIS 3.2<sup>1</sup>.

En la tabla siguiente, se muestra un archivo de entrada para Arc View.

<sup>1</sup> Programa computacional de sistema de información geográfica.

Tabla 7: Planilla de entrada a ArcView GIS 3.2

NUM	Plant tot	Veg. nat tot	tot sup. afec	eml. CO tot	plant eml. CO tot	veg eml. CO tot	sup. eml. CO tot	eml. NOx tot	plan eml. NOx tot	veg eml. NOx tot	sup. eml. NOx tot
1	GEOREF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	AP/4780	9.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	AL/3380	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	AL/3600	11.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	AL/3780	11.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	AL/3820	11.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	AL/3920	11.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	AL/3980	12.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	AL/3780	12.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	AL/3980	13.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	AL/3980	13.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	AL/3780	14.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13	AL/3980	14.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	AL/3780	14.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	AL/3680	15.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16	AL/3680	16.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17	AL/3680	17.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18	AL/3680	18.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
19	AL/3680	19.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	AL/3680	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
21	AL/3680	21.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
22	AL/3680	22.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	AL/3680	23.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24	AL/3680	24.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25	AL/3680	25.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
26	AL/3680	26.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
27	AL/3680	27.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
28	AL/3680	28.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
29	AL/3680	29.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30	AL/3680	30.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
31	AL/3680	31.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
32	AL/3680	32.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
33	AL/3680	33.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34	AL/3680	34.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
35	AL/3680	35.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
36	AL/3680	36.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
37	AL/3680	37.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
38	AL/3680	38.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
39	AL/3680	39.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40	AL/3680	40.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
41	AL/3680	41.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
42	AL/3680	42.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
43	AL/3680	43.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
44	AL/3680	44.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
45	AL/3680	45.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
46	AL/3680	46.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
47	AL/3680	47.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
48	AL/3680	48.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
49	AL/3680	49.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50	AL/3680	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Realizando una planilla con la información recolectada (ver Ilustración 5), se ingresaron los datos con el código GEOREF, día de la ocurrencia, lugar donde ocurrió el evento, las hectáreas afectadas de plantaciones, vegetación nativa y otros tipos de superficies y sus respectivas emisiones de CO, NO<sub>x</sub>, PTS y TOG. Una vez lista esta planilla se guarda en formato \*.dbf para ser ingresada al programa ArcView GIS 3.2, el cual nos entregará imágenes de la región con los incendios forestales georeferenciado.

Por otro lado, como se mencionó anteriormente, las quemadas agrícolas no se encuentran georeferenciadas, con lo cual la información obtenida se basa solamente en



información que no se encuentra en formato magnético, sino que en papel, para lo cual se desarrollaron gráficas para mostrar la información.

## 6.2 Metodología para Fuentes Móviles

### 6.2.1 Metodología general de estimación de fuentes móviles en ruta

La metodología general para estimar las emisiones vehiculares en ruta consiste en multiplicar los datos del nivel de actividad vehicular por un factor de emisión apropiado.

Para los vehículos motorizados, el *nivel de actividad* es representado básicamente por el kilometraje recorrido por el vehículo por un tiempo y área donde se desarrolla el inventario, mientras que los *factores de emisión* se expresan en unidades de gramos por kilómetro recorrido, los que generalmente son altamente dependientes de la velocidad media de circulación.

$$E_i = \sum_k \text{Nivel de actividad} \times FE_{ik} \quad (3)$$

donde:

$E_i$  : Emisiones (gr.) del contaminante considerado i.

Nivel de actividad : Nivel de actividad de la categoría vehicular k.

$FE_{ik}$  : Factor de Emisión del contaminante i para la categoría k evaluada (gr/km).

El nivel de actividad asociado a este tipo de fuentes, puede ser obtenido de una manera desagregada y en detalle estimando directamente la información a partir de los datos locales de flujo vehicular, entre otras variables como son los modelos de transporte.

Sin embargo, muchas veces esta información no se encuentra disponible y se hace necesario estimar el nivel de actividad vehicular de forma más agregada con la ayuda de otros parámetros alternativos, tales como las estadísticas de consumo de combustible

regionales, caracterización detallada del parque vehicular y/o encuestas directas a usuarios de la red regional bajo estudio.

### 6.2.2 Metodología de estimación de emisiones tipo arco

Esta metodología se basa en la existencia de una red vial definida y caracterizada con modelos de transporte del tipo de demanda de recorridos. Para nuestro país, la red para diferentes ciudades es administrada y modelada por SECTRA<sup>2</sup>. La red esta constituida por fracciones representativas de los diferentes tipos de calles en la ciudad, denominados arcos o segmentos de calle. Cada arco tiene asociado características de operación básicas (capacidades velocidades, sentido, flujo y longitud, entre otros), asignadas según condiciones de equilibrio en la red en un horario determinado (por ejemplo punta mañana), lo que permite tener valores de velocidad y flujo para cada uno de ellos de acuerdo a los resultados del modelo. De lo anterior, nos permite obtener una base de trabajo uniforme y estándar para la aplicación de las metodologías de cálculo de emisiones obteniendo resultados atribuibles a un área geográfica definida y bien caracterizada.

La forma general para el cálculo de emisiones contaminantes está dada por la ecuación siguiente:

$$E_{ij} = \sum_k FE_{ik} \times FT_{kj} \times L_j \quad (4)$$

donde:

$E_{ij}$  : emisiones (gr) del contaminante considerado i en un arco j

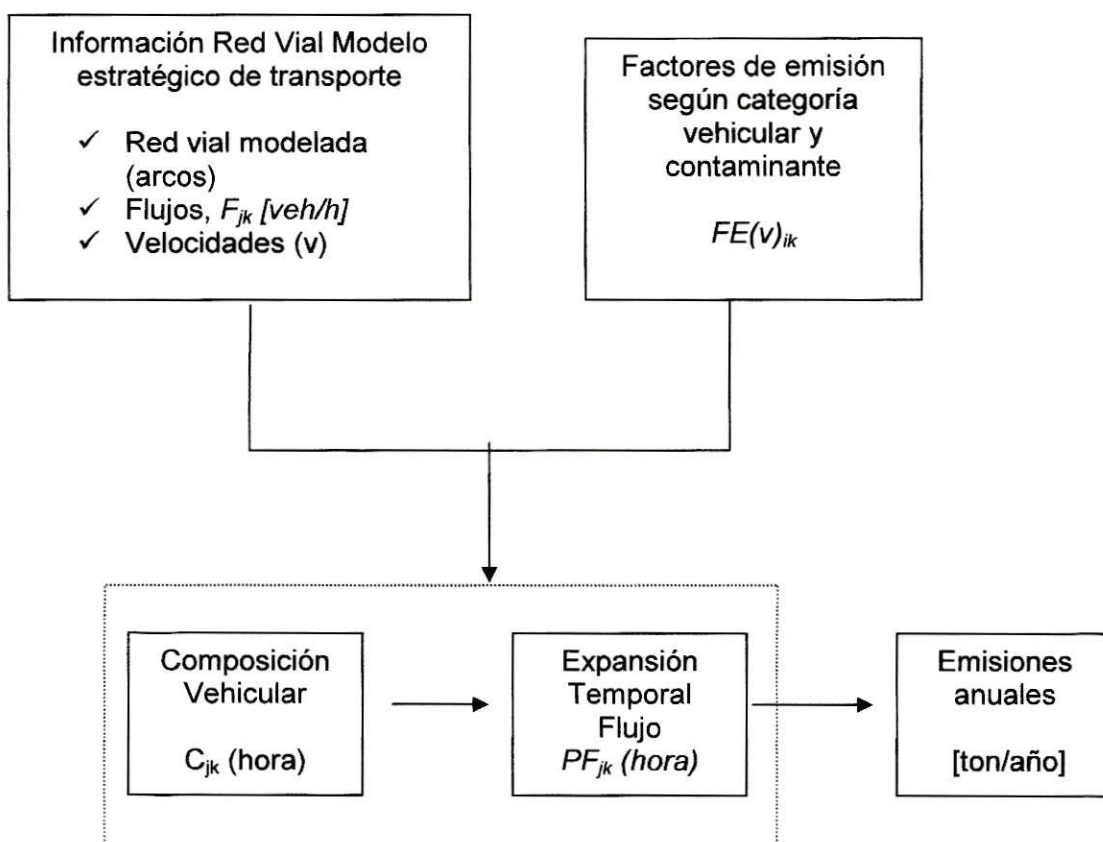
$FT_k$  : flujo vehicular (veh/h) de la categoría k en el arco j

$L_j$  : largo del arco evaluado j (km)

$FE_{ik}$  : factor de emisión del contaminante i para la categoría k evaluada (gr/km)

La figura 3 muestra un esquema que resume el cálculo de emisiones a partir de los modelos estratégicos de transporte y la aplicación de factores de emisión.

De la figura es posible notar que de los modelos de transporte se obtiene la información de la red vial (arcos modelados), sus características, velocidades y flujos, es decir, el nivel de actividad relacionado al transporte.



**Figura 3:** Diagrama general estimación de emisiones  
Fuente: CENMA

<sup>2</sup> Comisión de Planificación de Inversión en Infraestructura de Transporte, MIDEPLAN

Sin embargo, es importante aclarar que estos modelos, por el hecho de que son diseñados con fines de planificación estratégica del sistema de transporte y no con fines de cálculo de emisiones, deben ser complementados con información adicional.

Por otro lado, para poder calcular emisiones a lo largo de todo el día y todo el año, es decir, llegar a estimar las emisiones anuales, se hace necesario una expansión temporal del flujo vehicular entregado por los modelos de transporte, al menos a todo el día.

Los modelos de transporte entregan solamente evaluaciones o asignaciones de flujos para ciertas horas específicas de modelación, generalmente un horario de punta y otro fuera de punta, entonces, como el modelo de emisiones requiere calcular emisiones en un período continuo de tiempo, es necesario extrapolar estas asignaciones a todo el día y a todo el año, para lo cual se hace necesario contar con perfiles de flujos diarios que caractericen el comportamiento a lo largo del día completo.

### **6.2.3 Expansión temporal de flujos vehiculares**

Para poder calcular las emisiones a lo largo de todo el día y todo el año, vale decir, llegar a estimar las emisiones anuales, es necesario realizar una expansión del flujo vehicular entregado por el modelo de transporte, al menos todo el día. Cabe mencionar que los modelos de transporte entregan solamente evaluaciones o asignaciones de flujos para ciertas horas específicas de modelación, generalmente una horario de punta y otro fuera de punta, y puesto que el modelo de emisiones requiere calcular las emisiones en un período continuo de tiempo, es necesario extrapolar estas asignaciones a todo el día y a toda el año, para lo cual es necesario contar con los perfiles de flujos diarios que caractericen el comportamiento a lo largo del día completo.



En este sentido, los conteos realizados por la empresa consultora en terreno son muy útiles. En la ecuación anterior, el flujo esta representado por la expresión “ $FT_{kj}$ ”, este flujo corresponde al flujo modelado en un solo período horario, generalmente en la mañana en hora punta, de manera que para expandir este flujo a cualquier hora del día se hace necesario incorporar un factor adicional a la ecuación anterior. Este factor de extrapolación se denomina “perfil de flujo” o “ $PF_{jk}$  (hora)”, de esta manera la ecuación anterior se completa con estos factores quedando como muestra la siguiente ecuación, utilizada para el cálculo de emisiones horaria por arco.

$$E_{horaijk} = F_{jk} \times L_j \times FE(v)_{ik} \times PF_{jk} \times C_{jk} \quad (5)$$

donde:

$E_{hora\ ijk}$  : emisiones (gr) del contaminante considerado i en el arco j para la categoría vehicular k en una hora determinada..

$F_j$  : flujo vehicular (veh/h) total en el arco j a la hora en que se establecieron los parámetros por arco bajo el modelo de transporte utilizado como base (ej. Punta mañana).

$L_j$  : largo del arco evaluado (km).

$FE(v)_{ik}$  : factor de emisión en función de la velocidad (gr/km) del contaminante i para la categoría k evaluada.

$PF_{jk}$  : perfil de flujo o fracción del flujo total (flujo j ) correspondiente a la hora evaluada.

$C_{jk}$  : composición o fracción del flujo total en el arco j perteneciente a la categoría k para la hora evaluada.

#### **6.2.4 Factores de emisión**

En conjunto con la definición de redes, caracterización y expansión de flujos, composiciones vehiculares y todos los aspectos que tienen relación con la descripción y cuantificación del nivel de actividad de las fuentes móviles en ruta, es necesario incorporar al proceso de cálculo el nivel de emisión de contaminantes atmosféricos generados por las diferentes categorías vehiculares existentes, lo que se conoce como la tasa de emisión másica por unidad de desplazamiento o “*factores de emisión*”. Estos tienen en general la unidad de gramos por kilómetro recorrido y dependen, en su mayoría, de la velocidad media de circulación. En el anexo A se encuentran asociados los valores de cada factor de emisión.

Como el factor de emisión “ $FE(v)_{ik}$ ” depende de la velocidad, esta última es obtenida de las modelaciones realizadas por el consultor que en este caso no fueron medidas y se tomo un valor promedio del rango de velocidad en que andan los vehículos y por último la velocidad de flujo libre que fue asignada de acuerdo a las características intrínsecas del arco evaluado, es decir, según la capacidad de diseño y características físicas de la construcción, si no se tiene este valor se puede tomar el la velocidad que estipula la ley.

#### **6.2.5 Clasificación de fuentes móviles**

Puesto que la clasificación de fuentes móviles que realizó la consultora corresponde a características de las flotas locales en las ciudades, además de la información disponible, se definen las siguientes categorías vehiculares básicas:

- Vehículos Livianos
- Taxi colectivo

- Taxis
- Buses
- Buses Interurbanos
- Camiones de 2 Ejes
- Camiones de más de 2 Ejes

Esta clasificación, si bien aporta para una desagregación de las categorías, para el sistema MODEM<sup>3</sup> fue necesario clasificar esta información que entregó el consultor en base a la clasificación que maneja MIDEPLAN y MOPTT, y que se encuentra en las bases de datos del sistema MODEM, en la cual se clasifican las categorías vehiculares según la tecnología, las cuales se encuentran en el Anexo B.

Para tal efecto, se estimaron los siguientes factores de equivalencia vehicular, que se obtuvieron de la tabla 8.

**Tabla 8:** Factores de Equivalencia para las distintas categorías vehiculares

<b>Categoría Vehicular</b>	<b>Factor de Equivalencia</b>
Vehículos Livianos	1.00
Taxi colectivos	1.30
Taxis Particulares (Alquiler)	1.00
Taxi buses	1.65
Buses	2.00
Buses Interurbanos	2.75
Camiones de 2 Ejes	2.00
Camiones de más de 2 Ejes	2.50

*Fuente: ICR Consultores Ltda.*

<sup>3</sup> MODEM: Modelo de Emisiones, ver Anexo C.

### 6.2.6 Antecedentes del parque automotriz local

Otro antecedente importante es con respecto a las características propias del parque automotor local. Esta información fue obtenida en el proceso de plantas de Revisión Técnica, que es administrada por el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones.

Cabe hacer notar que esta información obtenida es usada como referencia y para completar la información obtenida en el modelo SATURN.

Esta información corresponde al año 2000 de la planta de Revisión Técnica de la provincia de Quillota.

La tabla 9 muestra un resumen de la composición vehicular en la provincia de Quillota.

**Tabla 9:** Composición vehicular de Quillota

<b>Composición Vehicular de Quillota</b>			
<i>Tipo</i>	<i>Número</i>	<i>%Tipo Categoría Vehicular</i>	<i>% Total</i>
Buses Tipo I	1040	70.4	3.4
Buses Tipo II	385	26.1	1.3
Buses Tipo III	52	3.5	0.2
Otros Buses Tipo I	120	66.3	0.4
Otros Buses Tipo II	61	33.7	0.2
Camiones Livianos Tipo I	1231	51.5	4.0
Camiones Livianos Tipo II	876	36.6	2.8
Camiones Pesados Tipo I	0	0.0	0.0
Camiones Pesados Tipo II	285	11.9	0.9
Vehículos Livianos C	3523	30.7	11.5
Vehículos Livianos NC	7936	69.3	25.8
Taxis C	377	85.7	1.2
Taxis NC	63	14.3	0.2
Taxis colectivos C	2399	71.7	7.8
Taxis colectivos NC	946	28.3	3.1
Vehículos Comerciales C	3801	34.6	12.4
Vehículos Comerciales NC	5745	52.3	18.7
Vehículos Comerciales D	1443	13.1	4.7
Motos	459	100.0	1.5
Total	30742		100.0

Fuente: PRT año 2000



### 6.2.7 Tipos de contaminantes

Considerando que es necesario tener una primera aproximación del nivel de emisiones para muchos compuestos, la metodología general desarrollada por el Centro Nacional del Medio Ambiente cubre los siguientes contaminantes:

- CO (monóxido de carbono)
- COV (compuestos orgánicos volátiles)
- NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno)
- CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono)
- CH<sub>4</sub> (metano)
- N<sub>2</sub>O (óxido nitroso)
- SO<sub>x</sub> (óxidos de azufre)
- NH<sub>3</sub> (amoníaco)
- PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> (material particulado respirable)

Además, entrega información de especiación química, de particulado y compuestos orgánicos volátiles.

Según lo anteriormente, se han clasificado los contaminantes en diferentes niveles de acuerdo a la confiabilidad de los datos existentes:

- Nivel 1: incluye aquellos contaminantes para los cuales existen factores de emisión obtenidos bajo rigurosas metodologías que involucran un alto grado de confianza<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> La expresión “alto grado de confianza” es relativa a la calidad de los datos existentes para los niveles 2 y 3. No existen en el mundo factores de emisión conocidos con absoluta certeza.

- Nivel 2: este nivel incluye a los contaminantes para los cuales existen factores de emisión, pero que no pueden ser considerados representativos y son considerados solo como orden de magnitud.
- Nivel 3: incluye aquellos compuestos para los cuales solo existen unos pocos datos.

Según estos niveles, los contaminantes mencionados anteriormente se asocian de la siguiente manera en la tabla 10.

**Tabla 10:** Clasificación de los contaminantes

CONTAMINANTE	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
CO	X		
CO <sub>2</sub>	X		
COV	X		
NO <sub>x</sub>	X		
MP	X		
SO <sub>2</sub>	X		
N <sub>2</sub> O		X	
CH <sub>4</sub>		X	
NH <sub>3</sub>			X
NO <sub>2</sub>			X

*Fuente: Centro Nacional del Medio Ambiente*

### 6.2.8 Modelación del tráfico

El modelo de transporte utilizado en el estudio fue el SATURN (*Simulation and Assignment of Traffic to Urban Road Networks*), y como su nombre lo especifica, corresponde a un modelo de simulación y asignación de tráfico a redes viales urbanas.

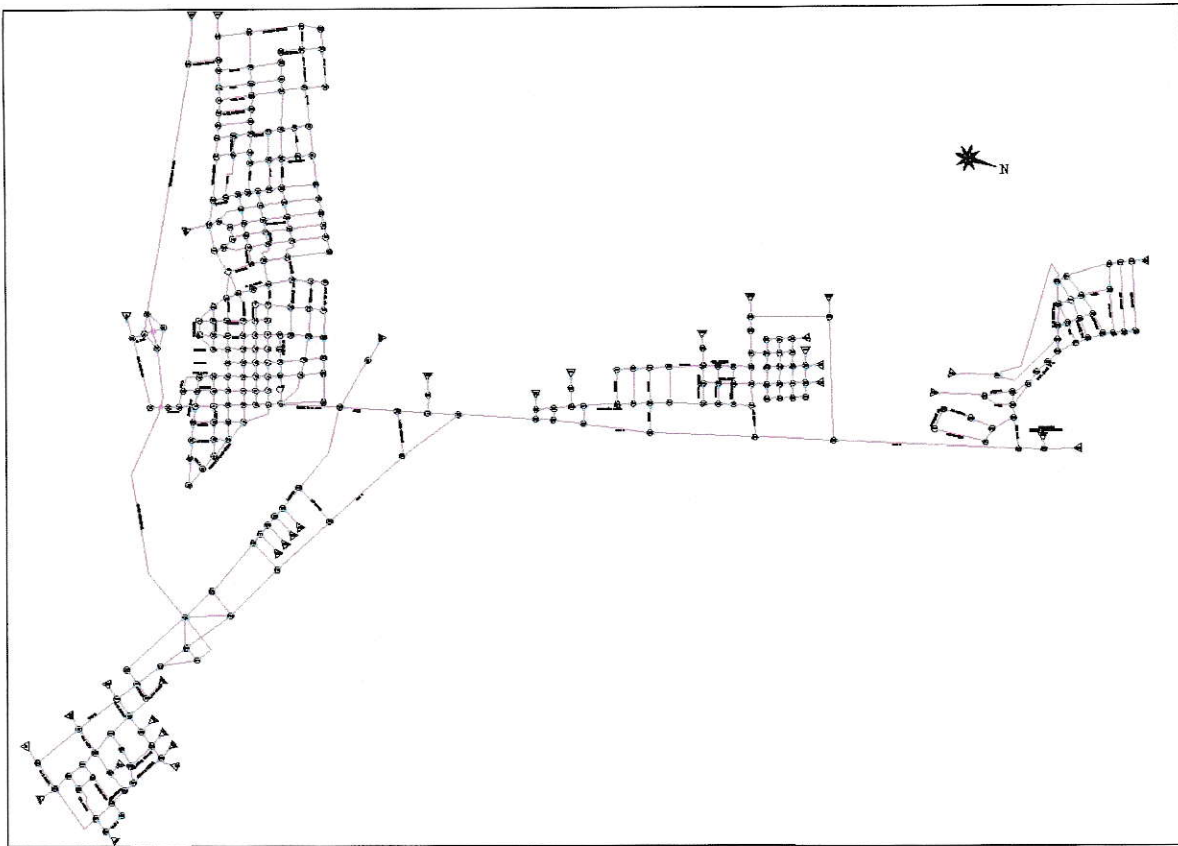
Este modelo consta de otros 5 módulos o programas computacionales, los que entregan distintos tipos de información, y que se especifican a continuación:

- SATNET: programa que valida todo el proceso de entrada de datos y construye los archivos computacionales requeridos por el resto de los programas.

- SATASS: programa que asigna una matriz de viajes dada, a la red vial de modelación, generando los flujos por arco.
- SATSIM, este programa simula en detalle las condiciones de operación de los flujos a través de la red interna, considerando la información obtenida en la asignación efectuada por el programa SATASS. Como resultado, este programa entrega las demoras, los tiempos de viaje de los vehículos y los correspondientes parámetros que caracterizan las curvas flujo-demora para cada movimiento de la red interna.
- M1, que corresponde al programa que valida la matriz origen-destino que se ingresa al modelo y genera los archivos computacionales necesarios para la operación del programa SATASS.
- SATME2, que es el programa que actualiza y/o ajusta la matriz origen-destino, de acuerdo a los conteos de flujos efectuados en diversos arcos de la red.

De este tipo de información que genera SATURN, se utilizó los archivos de salida del programa computacional SATASS, el cual nos entrega la información la que corresponde a los arcos y flujos correspondientes a dichos arcos.

En la siguiente figura se muestra la red vial modelada por SATURN para la zona en estudio, la cual corresponden a las comunas de La Calera, Hijuelas y Nogales con el distrito de El Melón.



**Figura 4:** Red Vial modelada por SATURN

El modelo SATURN y más específicamente los módulos asociados a éste modelan tres períodos que son asignados a los viajes. Estos períodos son los siguientes:

- Período 1: Punta Mañana (07:45 – 08: 45 hrs.)
- Período 2: Fuera Punta (09:45 – 10:45 hrs.)
- Período 3: Punta Tarde (18:30 – 19:30 hrs.)

A continuación, se muestra un detalle de los resultados que arroja el modelo SATURN para el período 1, Punta Mañana:



**Tabla 11:** Archivo de Salida del Modelo SATURN

ASS. LINK	SIMULATION/BUFFER			TRAVEL TIMES (SECONDS)			FLOWS (PCU/HR)	
	ANODE	BNODE	CNODE	FIXED	VARIABLE	TOTAL	TOTAL	FIXED
79	5	4		3.00	.00	3.00	.00	.00
79	5	13		3.00	.00	3.00	.00	.00
79	5	6		3.01	.00	3.01	20.40	.00
79	5			26.40	.00	26.40	20.40	.00
4	5			9.75	.00	9.75	.00	.00
4	5	13		.00	.00	.00	.00	.00
4	5	79		.00	.00	.00	.00	.00
13	5	6		3.05	.00	3.05	2.70	.00
13	5	79		3.04	.00	3.04	.00	.00
13	5	4		3.00	.00	3.00	.00	.00
13	5			33.00	.00	33.00	2.70	.00
6	5	79		.00	.00	.00	.00	.00
6	5	13		.00	.00	.00	.00	.00
6	5			18.00	.00	18.00	.00	.00
80	6	5		.00	.00	.00	.00	.00
80	6	14		.00	.00	.00	.00	.00
80	6	7		3.04	.00	3.04	.00	.00
80	6			14.67	.00	14.67	.00	.00
5	6			18.00	.00	18.00	23.10	.00
5	6	14		3.00	.00	3.00	.00	.00
5	6	7		3.04	.00	3.04	23.10	.00
5	6	80		3.05	.00	3.05	.00	.00
14	6	7		.00	.00	.00	15.23	4.00
14	6	80		.00	.00	.00	.00	.00
14	6	5		3.00	.00	3.00	.00	.00
14	6			14.67	.00	14.67	15.23	4.00
7	6	80		3.00	.00	3.00	30.71	.00
7	6	5		3.00	.00	3.00	.00	.00
7	6	14		3.03	.00	3.03	.00	.00
7	6			21.60	.00	21.60	30.71	.00
295	7	6		3.08	.00	3.08	.00	.00
295	7	8		3.19	.00	3.19	.00	.00
295	7			14.67	.00	14.67	.00	.00
6	7			21.60	.00	21.60	36.32	4.00
6	7			.00	.00	.00	37.82	4.00
6	7	295		3.08	.00	3.08	.00	.00
15	7	8		3.10	.00	3.10	.00	.00
15	7	295		3.15	.00	3.15	.00	.00
15	7	6		3.19	.00	3.19	.00	.00
15	7			14.67	.00	14.67	.00	.00
8	7	295		.00	.00	.00	.00	.00
8	7	6		.00	.00	.00	30.71	.00
8	7			19.80	.00	19.80	30.71	.00
81	8	7		.00	.00	.00	30.71	.00
81	8	16		.00	.00	.00	355.41	192.00
81	8			11.37	.00	11.37	386.12	192.00
7	8			19.80	.00	19.80	37.82	4.00
7	8	16		4.44	.00	4.44	.00	.00
7	8	81		5.71	.02	5.73	37.82	4.00
24	8	81		.00	.00	.00	283.12	196.00
24	8	7		4.24	.00	4.24	.00	.00
24	8	16		4.28	.00	4.28	42.00	42.00

Fuente: ICR Consultores

Se tomo este horario para poder ajustarlo a los archivos de entrada del MODEM y los cuales son representativos de cada período.

Tomando esta información, se puede apreciar que el modelo SATURN entrega los siguientes antecedentes en las columnas.

- Nodos
- Tiempos de viaje, (s)
- Flujo total y flujo fijo, (PCU/h)<sup>5</sup>

Como se puede observar en la Ilustración 8, el flujo variable no aparece, para lo cual se realiza el siguiente cálculo que corresponde a la resta entre el flujo total y el flujo fijo.

$$F_T = F_V + F_F \quad (6)$$

donde:

$F_T$ : corresponde al flujo total (PCU/h)

$F_V$ : corresponde al flujo variable (PCU/h)

$F_F$ : corresponde al flujo fijo (PCU/h)

### 6.2.9 Recopilación de antecedentes

La recopilación de los antecedentes de fuentes móviles se realizó basándose en un estudio que fue ejecutado y propuesto por una empresa consultora para el mejoramiento vial existente que une a las ciudades de La Calera, Hijuelas y Nogales junto al distrito de El Melón.

En el mencionado estudio, se proponen las posibles alternativas de trazado para la nueva vía que unan a estas ciudades, con lo cual utilizan en esta propuesta un modelo de asignación de transporte para la ver que trazado será el mejor.

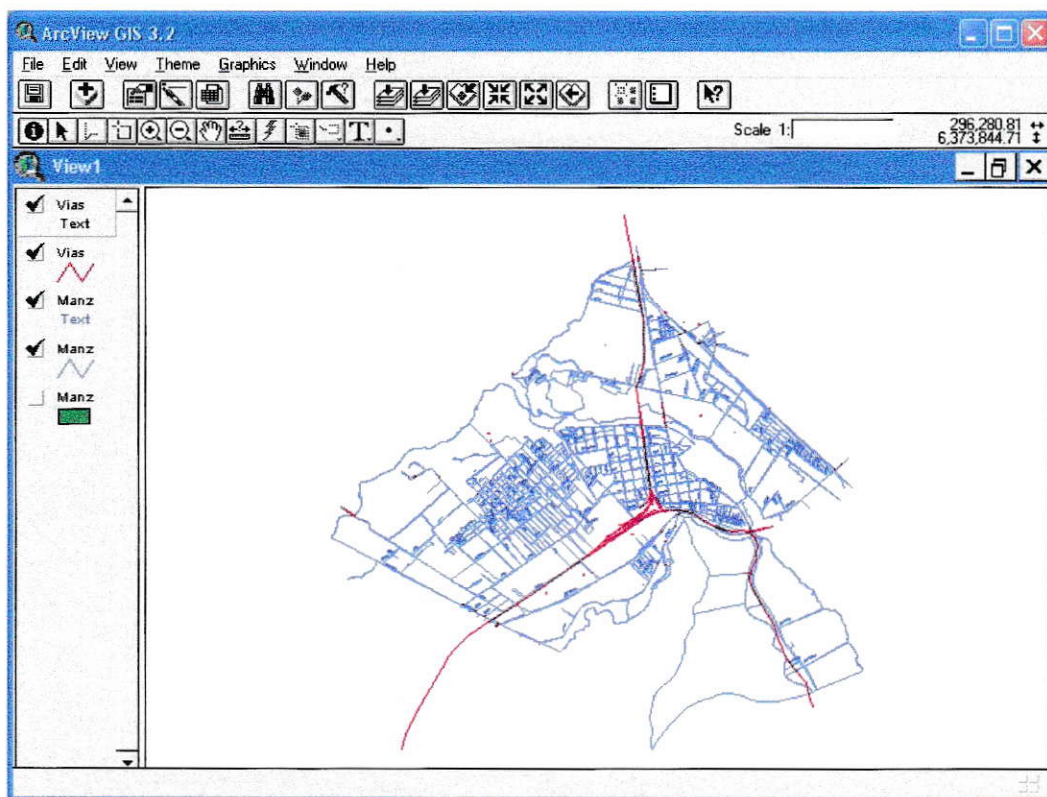
---

<sup>5</sup> (PCU/h) significa vehículos equivalentes por hora (en inglés) y corresponde a la equivalencia entre los vehículos.

El flujo vehicular mide el comportamiento del tránsito en una ciudad o si se quiere más específico, en las calles de estudio y éstas pueden ser representadas mediante la modelación de una situación en particular.

### 6.2.10 Georeferenciación de la red vial en estudio

Dado que este estudio fue de prefactibilidad vial no fueron considerados los archivos de georeferenciación (coordenadas UTM) para los arcos, con lo cual, tuvieron que ser calculados mediante coberturas de sistema de información geográfica (SIG) con el programa ArcView GIS 3.2 que posee el Instituto Nacional de Estadística (INE) y que se muestra a continuación en la figura 5.



**Figura 5:** Medición de coordenadas UTM.  
*Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE)*



Este programa, tiene la facultad de poder maximizar o minimizar la imagen, la cual nos dará una mayor o menor precisión, según corresponda, para el cálculo de las coordenadas en los arcos que modela la red.

### 6.2.11 Recorridos del flujo fijo

Según lo conversado con los consultores, en el flujo fijo no se consideran los camiones, solo se consideraron los recorridos de los taxi colectivos, taxi buses y buses interurbanos, con lo cual los camiones se consideraron como flujo variable, aunque los camiones fueron modelados por SATURN mediante una matriz de asignación de ruta mínima, esto quiere decir, que utilizan la ruta más corta para minimizar el consumo de combustible.

A continuación se muestra en la ilustración 10 un tipo de recorrido, en el cual se puede leer de izquierda a derecha la línea del recorrido, la frecuencia, el número total de nodos recorridos y el recorrido que realiza.

**Tabla 12:** Archivo de entrada para el recorrido de flujo fijo

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda														
66666																		
1000	2	37	812	203	191	182	180	178	176	174	179	167	166	165	81			
			8	16	23	22	21	20	19	18	17	84	85	157	156			
			155	154	153	152	151	150	149	148	147	146	800					
1900	2	38	800	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157			
			85	25	26	27	28	29	30	31	32	33	24	8	81			
			165	166	167	179	174	176	178	180	182	191	203	812				
1001	5	37	812	203	191	182	180	178	176	174	179	167	166	165	81			
			8	16	23	22	21	20	19	18	17	84	85	157	156			
			155	154	153	152	151	150	149	148	147	146	800					
1901	5	38	800	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157			
			85	25	26	27	28	29	30	31	32	33	24	8	81			
			165	166	167	179	174	176	178	180	182	191	203	812				
1002	5	38	290	287	283	280	278	272	271	270	266	267	268	269	258			
			238	237	231	228	225	220	218	216	214	211	212	208	206			
			159	163	167	179	174	176	178	180	182	191	203	812				
1902	5	39	812	203	191	182	180	178	176	174	179	167	163	159	206			
			208	212	221	220	225	228	231	237	236	235	234	233	232			
			257	258	269	268	267	270	271	272	278	280	283	287	290			
1003	4	25	24	8	16	23	22	21	20	19	18	17	84	85	157			
			156	155	154	153	152	151	150	149	148	147	146	800				

Fuente: ICR Consultores



Siguiendo las rutas de los colectivos, taxi buses y buses, las cuales contienen las frecuencias (ver figura, 2ª columna de izquierda a derecha) se construyeron los flujos fijos para éstas categorías multiplicándolas por su factor de equivalencia.

#### **6.2.12 Pasos para el ingreso de información al MODEM**

La información que se ingresa al MODEM debe contener y seguir los siguientes pasos:

1. Definición de las categorías vehiculares, esto quiere decir, definir que vehículos serán ingresados al sistema y además se debe considerar que estos vehículos tengan factores de emisión.
2. Definir los tipos de Ruta del MODEM, acá se consideraron las rutas que contiene el sistema MODEM y que no necesariamente son iguales a las de SATURN lo que implica una desagregación de la información, estas son:
  - a. Buses licitados y Buses rurales interurbanos
  - b. Colectivos
  - c. Camiones livianos, medianos y pesados
  - d. Vehículos livianos, comerciales, taxis, motos
3. Definir los tipos de Ruta del SATURN, acá se consideraron distintos tipos de ruta dentro de dos grupos básicos (ruta fija y variable), las cuales son para SATURN:
  - a. Buses
  - b. Colectivos
  - c. Taxi buses
  - d. Variables

(emisiones de arco o evaporativas) que se producen en la zona de estudio, además de contener una serie de contaminantes que se producen por efecto de las fuentes móviles.

Junto con esta información, es necesario saber el consumo de combustible y el porcentaje de azufre que contiene el combustible tanto para los vehículos a gasolina como para los vehículos que utilizan petróleo diesel, esto, para validar el proceso de cálculo.

### 6.3 Metodología Modelo de Dispersión

Para los modelos de meteorología y de modelación de contaminantes fotoquímicos, i.e. CALMET y CAMx<sup>6</sup> respectivamente, se determinaron áreas de aplicación idénticas, que abarcaran en su completa extensión al área de las ciudades de La Calera, Nogales e Hijuelas. Para estos efectos, se determinó usar un área que comprendió una extensión simétrica y rectangular de 70x50 Km., considerando el lado más largo del rectángulo en la dirección oriente-poniente.

La localización exacta de la celda origen del sistema en coordenadas UTM (Unidades Transversales de Mercator), viene dada en la ubicación 260 km. UTM-E y 6350 km. UTM-N, correspondiente a la Zona UTM 19. Desde este punto origen se extienden los 70 km. en dirección oriente y los 50 km. en la dirección norte que dan origen a la grilla que delimita el sistema dentro del cual se realizaron todas las modelaciones.

#### 6.3.1 Resolución

La resolución de la grilla utilizada, también se presentó como un punto de análisis. El problema con esto, es que no se desea utilizar una muy baja resolución debido a que se estarían despreciando injustificadamente muchos de los hitos geomorfológicos que afectan la meteorología y la dispersión, pero se estaría ganando mucho tiempo en cada modelación.

---

<sup>6</sup> Ver Anexo D y E respectivamente

Por otra parte, si se busca una precisión muy alta, a través de una gran resolución, se estaría incurriendo en altos costos en recursos, ya que por cada disminución del lado de una celda cuadrada a la mitad, se genera un gasto en tiempo de modelación cuatro veces mayor. Así, sopesando ambos extremos, se determinó el uso de una grilla formada por celdas de 1x1 km. con la capacidad de describir apropiadamente la geomorfología del área, de incorporar justificadamente la información de monitoreo meteorológico y de concentraciones y, por último, de ser capaz de entregar información con validez comparable a la situación real.

### **6.3.2 Período**

El período a ser modelado también presentó un desafío, considerando su ubicación cronológica y su extensión. En cuanto a la ubicación del período en la línea cronológica, se consideraron tres parámetros de decisión: la validez de los datos meteorológicos, la validez del inventario de emisiones, que el período contuviera algún episodio de contaminación. Por el lado de la extensión del período se puede mencionar que fueron dos los parámetros de decisión, a saber: que el período contuviera al menos una semana completa –para así verificar el comportamiento de un ciclo de contaminación completo- y que el uso de recursos computacionales a la hora de modelar fuera de acuerdo a los recursos disponibles, ya que los recursos consumidos en cada corrida del modelo van en directa relación con la extensión del período.

De esta forma se concluyó que el período a modelar iría desde el 17 de enero a las 0:00 horas, considerando un día que va desde las 0:00 a las 23:00 con una resolución de una hora, hasta el 22 de enero a las 16:00 para la época de verano y desde el 17 de mayo a las 0:00 horas hasta el 22 de mayo a las 23:00 horas, todo dentro del año 2000.

No obstante, dentro del año 2000 no se presentaron episodios de altas concentraciones para SO<sub>2</sub>.

### **6.3.3 Meteorología de superficie**

La información que detalla la meteorología de superficie, comprende una serie de parámetros que provienen de distintas fuentes. En definitiva, los parámetros que se utilizaron fueron: dirección y velocidad del viento (WDIR y WSPD respectivamente), presión atmosférica (PRES), temperatura (TEMP), humedad relativa (HUMREL), y radiación global (GLOB). Todos estos datos fueron tomados de las estaciones de monitoreo del Cemento Melón.

En el caso de la cobertura de nubes (CLOUD), se utilizaron dos fuentes, una calculada a partir de la radiación incidente y la otra proveniente del CENMA a través del modelo HIRLAM (es decir, una cobertura de nubes modelada).

### **6.3.4 Estaciones en altura**

Los datos en altura utilizados provienen de aquellos manejados por el CENMA, a través del sistema HIRLAM. Corresponden a estaciones de monitoreo meteorológico en altura y otras estaciones que han sido modeladas.

La información entregada para las estaciones en altura corresponde a la misma que entregan las estaciones meteorológicas superficiales, pero sin incluir la información relacionada con la radiación incidente.

Los datos están dispuestos para 7 niveles, ubicados de tal forma que las caras superiores de dichos niveles se encuentran a una altura desde el nivel del suelo de 10m, 35m, 75m, 150m, 350m, 750m y 1500m, respectivamente. Ahora bien, CALMET utiliza el centro de cada uno de estos niveles para calcular velocidades, temperaturas, etc. Esto corresponde al promedio de la diferencia de dos niveles contiguos más la altura de la cara superior del nivel anterior:



$$H_L = H_{S_{L-1}} + \frac{(H_{S_L} - H_{S_{L-1}})}{2} \quad (7)$$

Cabe ser mencionado que CALMET toma como punto 0 el nivel del suelo y no la altura con respecto al nivel del mar. (Waissbluth, 2002)

### 6.3.5 Geomorfología

Se creó un archivo de datos geofísicos utilizando los preprocesadores de CALMET: TERREL, CTGPROC y MAKEGEO. Esto se explica a continuación.

- TERREL es un preprocesador de terreno que coordina la localización de datos de elevación de suelos a través de bases de datos digitalizadas. Se obtuvo un archivo GTOPO30 del sitio WWW del USGS (EEUU, United States Geological Survey) ([edcwww.cr.usgs.gov](http://edcwww.cr.usgs.gov)), correspondiente al cuadrante sudoeste del continente latinoamericano, con 40 grados de longitud y 50 grados de latitud de cobertura. El preprocesador entrega un archivo TERREL.OUT que consiste en una grilla de elevaciones. En este caso, se configuró el preprocesador para que entregara la grilla perteneciente a la zona de la región que se pretende modelar. Este archivo de salida es utilizado como entrada en el preprocesador MAKEGEO.
- CTGPROC es un preprocesador que lee datos CTG de usos de suelos. Se obtuvieron datos de usos de suelos del USGS, que se usaron como entrada para el CTGPROC. Éste creó el archivo de salida CTGPROC.LST, que consiste en una grilla de usos de suelos. Este archivo también es utilizado como entrada en el preprocesador MAKEGEO.
- MAKEGEO es el preprocesador final de terrenos, usa como archivos de entrada los archivos generados por los dos preprocesadores anteriores más un archivo de

control MAKEGEO.INP. Un valor opcional para cada parámetro de superficie es proporcionado por el usuario en este archivo de control. Con este preprocesador se creó el archivo GEO2KM.DAT, que es un archivo que contiene una grilla con elevaciones y datos de características de los suelos. De los datos del archivo GEO.DAT se grafican a continuación las elevaciones y usos de suelo, para mostrar que son consistentes con lo conocido respecto de la Región de Valparaíso.

### **6.3.6 Concentraciones efectivas**

Al referirse a las concentraciones efectivas se hace mención a las reales concentraciones de SO<sub>2</sub>, que fueron medidas a lo de las 2 estaciones de monitores de la red que dispone Cemento Melón para el período modelado. Estas concentraciones son medidas en intervalos horarios.

Lo mencionado en el párrafo anterior es de suma relevancia, ya que es a partir de la forma en que vienen monitoreados los datos que se ha dirigido la dirección de la modelación, es decir, que la modelación ha sido configurada para que entregue resultados en forma horaria y sólo para los puntos de la ciudad en los que se encuentran ubicadas las estaciones de monitores. Esto se ha decidido de ésta forma ya que se ha estimado que una resolución mayor, ya sea temporal o espacial, entregaría una precisión de resultados que haría a muchos de ellos incomparables con la realidad y por consiguiente inútiles.

### **6.3.7 Introducción y verificación de datos de entrada para el modelo CALMET**

Una vez realizado todo el trabajo de recopilación de datos que han de ser introducidos en el modelo CALMET, se debe realizar un exhaustivo trabajo de validación de datos. Esta validación busca como objetivo último entregar información utilizable y sin ruido. Así se estaría en la posición de discriminar aquellos datos y estaciones de medición que se estimen convenientes para ser usados.

### **6.3.8 Creación de los archivos de entrada para CALMET**

Una vez validados los datos y estaciones meteorológicas a utilizar, tanto superficiales como en altura, se hace necesario generar archivos que cumplan con el formato de entrada para CALMET. Estos archivos son limpiados de toda información innecesaria y luego son ordenados en la forma que CALMET exige para posteriormente ser alterados por distintos procesadores que manejan los distintos tipos de datos de entrada.

El preprocesador SURFER (generado en el lenguaje Fortran) permite tomar los archivos Excel y transformarlos en los archivos superficiales de entrada. Lo único que exige este preprocesador es que se le entreguen todos los datos del período (momento de inicio y término, zona horaria, número e identificación de las estaciones y nombres de archivos de entrada y salida del preprocesador).

En el caso de los archivos en altura se desea hacer un proceso sumamente parecido, pero esta vez utilizando el preprocesador UP (también generado en el lenguaje Fortran) que exige datos similares al SURFER.

Los archivos con los datos geomorfológicos fueron explicados en la sección 2.3.5. Vale decir que éstos son los únicos archivos de entrada que son realizados sólo una vez ya que por su esencia son invariables.

Para el caso de los archivos de precipitaciones se utilizó el procesador RAIN, que es absolutamente análogo a los procesadores SURFER y UP, tanto en su operación como en los datos de entrada.

### **6.3.9 Evaluación del desempeño de un modelo de dispersión**

A continuación se describen los distintos parámetros estadísticos más utilizados para evaluar el desempeño de un modelo de dispersión.

- **Concentración media observada (O)**

$$O = \frac{1}{n} \sum O_i \quad (8)$$

- **Concentración media predicha (P)**

$$P = \frac{1}{n} \sum P_i \quad (9)$$

- **Desviación estándar de lo observado ( $\sigma_o$ ) y predicho ( $\sigma_p$ )**

$$\sigma_o = \sqrt{\frac{n \sum O_i^2 - O^2}{n-1}} \quad (10)$$

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{n \sum P_i^2 - P^2}{n-1}} \quad (11)$$

- **Concentración media residual (SESGO)**

$$\text{SESGO} = O - P \quad (12)$$

Para que el comportamiento de un modelo se considere bueno, los resultados de la aplicación de estos índices deben arrojar lo siguiente:

El valor medio predicho de las concentraciones no debe diferir mucho del valor medio observado, además las desviaciones estándar de las concentraciones observadas y predichas no deben diferir mucho. Por último el valor medio residual (SESGO) que mide la diferencia entre la media observada y la media predicha debe ser mínimo.

- **Diferencia media normalizada (NMD) o SESGO/media observada**

Idealmente este valor debe ser cero o lo más cercano a él, si este parámetro (en valor absoluto) es superior al 50% se considera que el modelo es deficiente. Sin embargo, este



índice sólo compara el valor promedio de las observaciones y predicciones, sin considerar el conjunto completo de datos.

$$NMD = \frac{O - P}{O} \quad (13)$$

- **Índice de Concordancia (IC)**

Un índice más apto para la concordancia de los modelos, que permite realizar un análisis punto a punto, es el índice de concordancia. Este índice entrega valores acotados entre cero y uno, donde el valor uno, indica que existe una perfecta concordancia de las concentraciones observadas ( $O_i$ ) con las predichas ( $P_i$ ) teniéndose un modelo con un comportamiento muy bueno, en cambio si su valor es cero, indica una nula concordancia entre los valores observados y predichos teniéndose en este caso un modelo de comportamiento deficiente.

$$IC = 1 - \frac{\sum_{i=1} (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1} (|P'_i| + |O'_i|)^2} \quad (14)$$

donde:

$$P'_i = P_i - O \quad (15)$$

$$O'_i = O_i - P \quad (16)$$

Otro de los índices, cada vez más usados para la evaluación y comparación de modelos es la raíz del error cuadrático medio (RMSE), incluso ha llegado a reemplazar

antiguos métodos existentes con muy buenos resultados y siendo aplicable para una extensa variedad de modelos.

- **Raíz del error cuadrático medio (RMSE)**

$$RMSE = \left( \frac{1}{N} \sum (O_i - P_i)^2 \right)^{0.5} \quad (17)$$

Es útil descomponer el error cuadrático medio en error sistemático ( $RMSE_s$ ) y asimétrico ( $RMSE_a$ ), ya que según Willmot, tanto el error de la raíz cuadrática media sistemática como el asistemática entregan una valiosa información en cuanto a la potencialidad del modelo. Para que sea un buen modelo, la porción asistemática del error cuadrático medio debe ser ampliamente superior a la porción sistemática. Una mayor porción sistemática indica un modelo pobre.

$$RMSE_s = \left( \frac{1}{N} \sum (O_i - \hat{P}_i)^2 \right)^{0.5} \quad (18)$$

$$RMSE_a = \left( \frac{1}{N} \sum (\hat{P}_i - P_i)^2 \right)^{0.5} \quad (19)$$

donde:

$$\hat{P}_i = a + bO_i \quad (20)$$

con  $a$  como intercepto y  $b$  la pendiente de la recta definida por las variables  $O_i$  y  $P_i$ :

$$a = P - bO \quad (21)$$

$$b = \frac{\sum (O_i - O)(P_i - P)}{\sum (O_i - O)^2} \quad (22)$$

además se debe cumplir con la condición:

$$RMSE^2 = RMSE_s^2 + RMSE_a^2 \quad (23)$$

## 7. RESULTADOS

### 7.1 *Quemas Agrícolas e Incendios Forestales*

Se estimaron las emisiones para quemas agrícolas legales y para incendios forestales (quemas agrícolas ilegales no se consideran ya que no hay registro de ellas) utilizando los factores de emisión descritos en la metodología para incendios forestales y quemas agrícolas.

Este cálculo corresponde a una primera aproximación a las emisiones por quemas e incendios en la región.

Como se mencionó en la metodología, estas estimaciones de las emisiones dependen del tipo de material que se está quemando y de la superficie afectada, información que es recolectada en terreno por los fiscalizadores de CONAF V Región o bien registradas en las declaraciones de quemas autorizadas, para ambos casos, la cantidad de información real de combustible de quema no es muy buena.

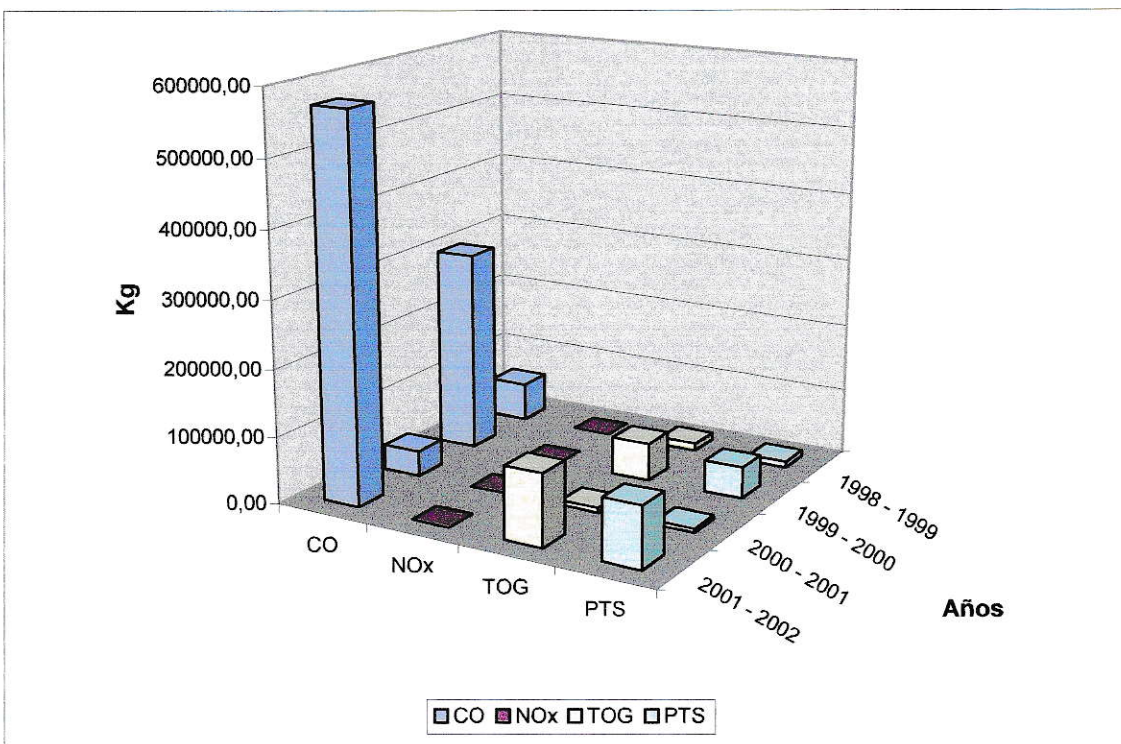
A continuación se muestran en la tabla 13 los resultados de las quemas agrícolas y los incendios forestales (kg/año) en la Quinta Región de Valparaíso.



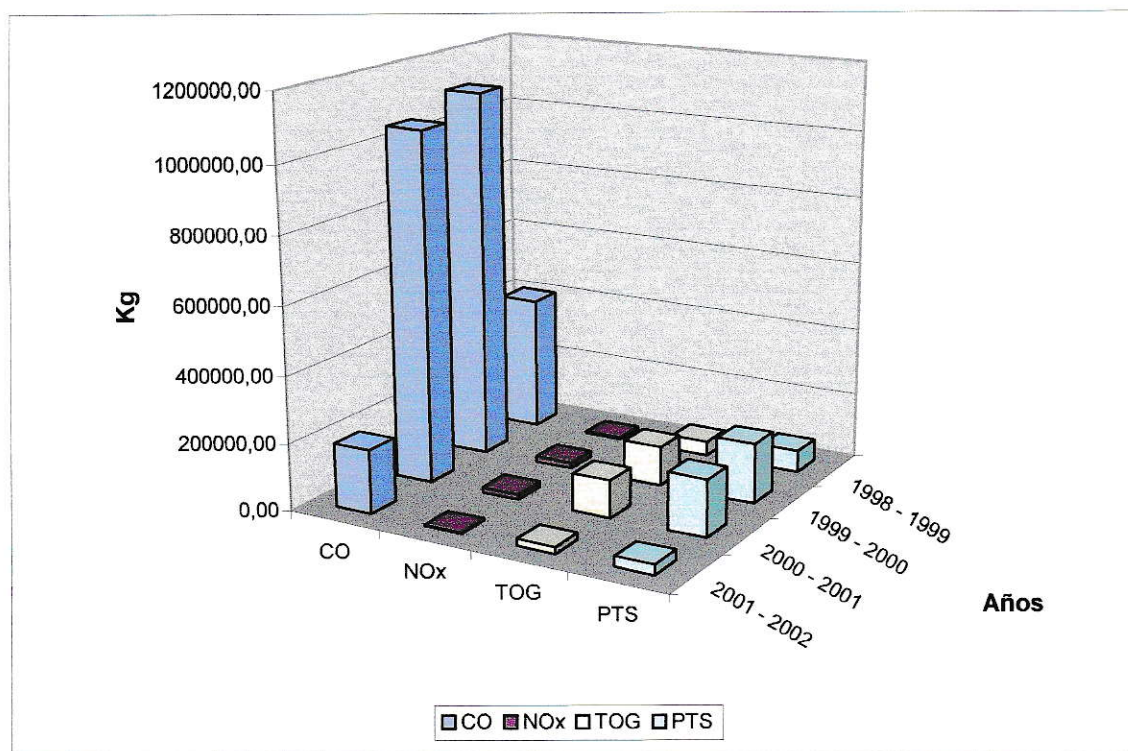
**Tabla 13:** Resumen de emisiones por Quemadas Agrícolas y Quemadas Forestales (kg/año)

TIPO DE QUEMA	CO	NOx	TOG	PTS
<b>Agrícola</b>				
1998 - 1999	57493,64	0,00	10814,88	9107,80
1999 - 2000	299545,12	0,00	56346,12	47452,17
2000 - 2001	37301,68	0,00	7016,66	5909,11
2001 - 2002	571062,23	0,00	107420,01	90464,30
Promedio	241350,67	0,00	45399,41	38233,34
<b>Forestal</b>				
1998 - 1999	404119,87	6217,60	43175,20	65282,02
1999 - 2000	1105651,12	17011,04	118125,12	178608,24
2000 - 2001	1051015,68	16170,44	112288,00	169782,36
2001 - 2002	191137,19	2940,75	20420,64	30876,54
Promedio	687980,97	10584,96	73502,24	111137,29

A continuación, en las siguientes figuras se muestran los valores graficados de la tabla 13.



**Figura 7:** Emisiones por Quemadas Agrícolas  
Fuente: CONAF V Región



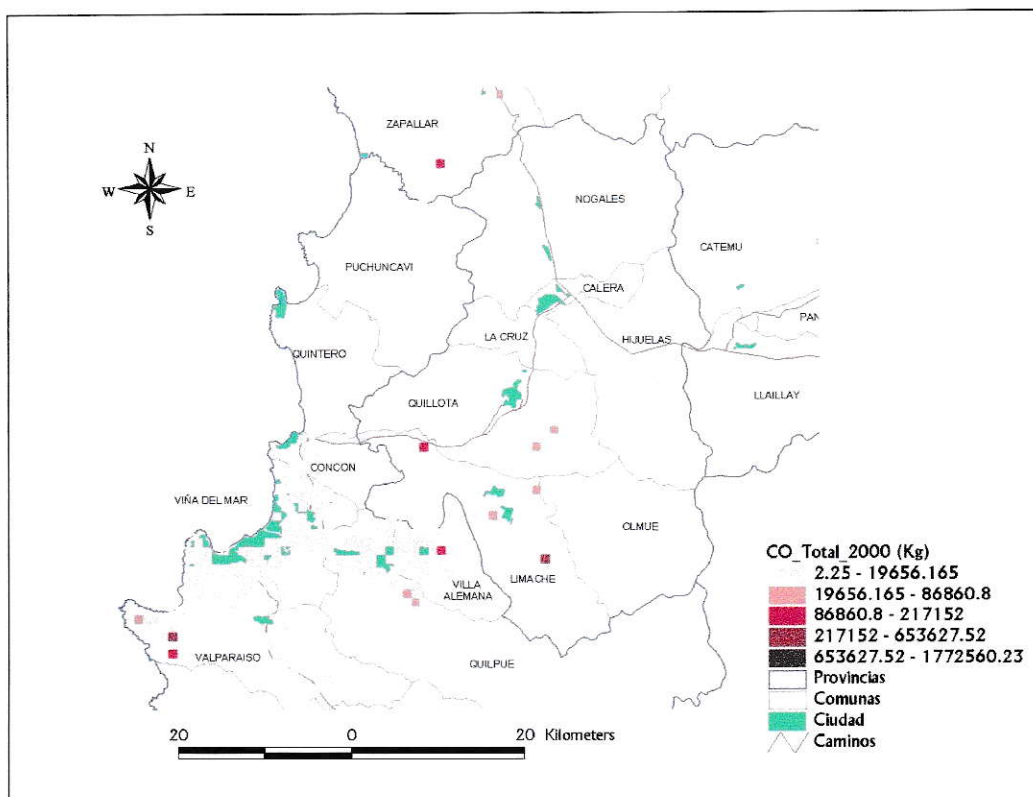
**Figura 8:** Emisiones por Quemas Forestales  
Fuente: CONAF V Región

Según los gráficos, las emisiones que se producen tanto por las quemas agrícolas como por quemas forestales sufren variaciones de acuerdo a la temporada en que se midieron. No obstante, las emisiones de CO por parte de las quemas agrícolas para el período 2001 – 2002 son las que más sobresalen, superando prácticamente en el doble la emisión del período 1999 – 2000. En cuanto a los otros contaminantes que son TOG y PTS presentan un aumento de sus emisiones, pero cabe hacer notar que las emisiones de TOG son mayores que las emisiones de PTS.

En cuanto a las quemas forestales, éstas tienen una tendencia hacia el descenso a partir del período 1999 – 2000, destacándose nuevamente las altas emisiones de CO en los períodos comprendidos en los años 1999 – 2000 y 2000 – 2001. Las emisiones de NO<sub>x</sub> son muy bajas en los cuatro períodos, con lo cual no hay una mayor incidencia. Las emisiones

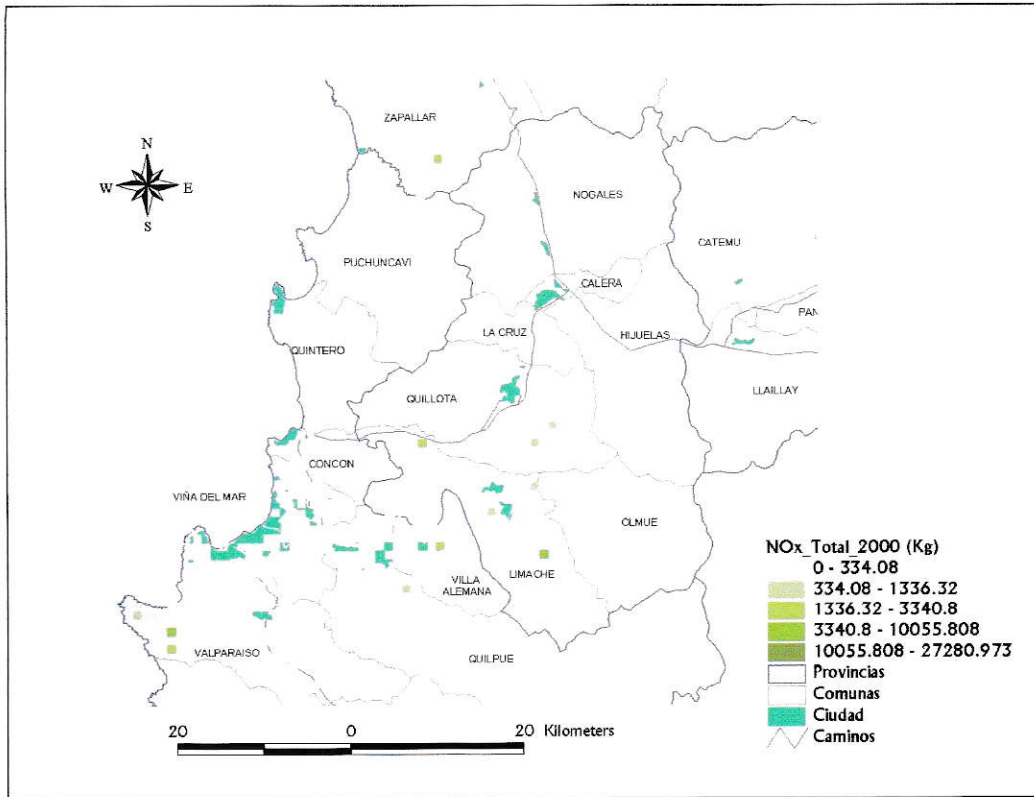
correspondientes a TOG y PTS han ido disminuyendo, aunque las emisiones de PTS son mayores que las emisiones de TOG.

A continuación se presentan mapas de emisiones de Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), Gases Orgánicos Totales (TOG) y Partículas Totales Suspendidas (PTS) para Incendios Forestales, correspondientes al año 2000.

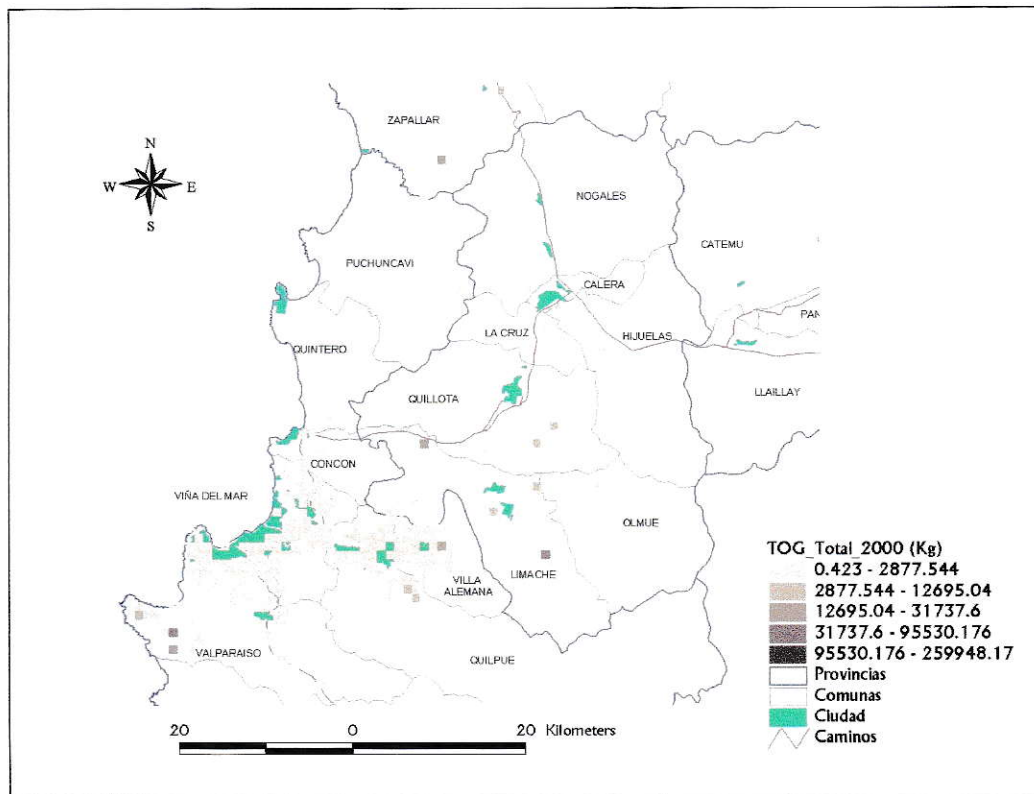


**Figura 9:** Emisiones de CO (Kg), año 2000



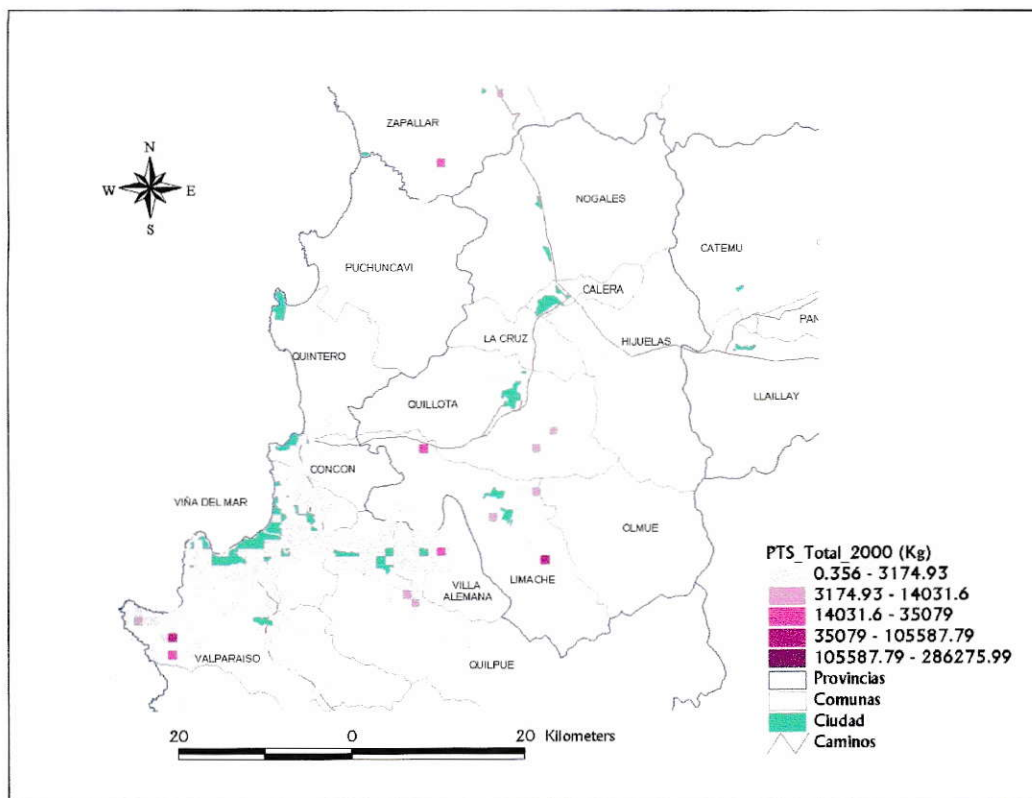


**Figura 10: Emisión de NO<sub>x</sub> (Kg.), año 2000**



**Figura 11: Emisión de TOG (Kg.), año 2000**





**Figura 12:** Emisiones de PTS (Kg.), año 2000

Con respecto a las emisiones que se producen por los incendios forestales, se pueden comentar los siguientes puntos con respecto a las emisiones de los contaminantes.

- Las emisiones de CO se encuentran en mayor proporción entre los rangos de 2.25 y 26058.24 Kg., mientras que en algunas superficies se encuentran más de un evento que supera este rango (mayores a 200000 Kg.)
- Las emisiones de NO<sub>x</sub> se encuentran en mayor proporción entre los rangos de 0 y 400.896 Kg., mientras que en algunas superficies se encuentran más de un evento que supera este rango (sobre los 3000 Kg.)
- Las emisiones de TOG se encuentran en mayor proporción entre los rangos de 0.356 y 3808.512 Kg., mientras que en algunas superficies se encuentran más de un evento que supera este rango (emisiones mayores a 31000 Kg.)

- Las emisiones de PTS se encuentran en mayor proporción entre los rangos de 0.356 y 4209.48 Kg., mientras que en algunas superficies se encuentran más de un evento que supera este rango (emisiones mayores a 35000 Kg.)

Puede observarse de las Ilustraciones que las mayores emisiones se producen en las cercanías de los centros poblados, llámese la urbe del Gran Valparaíso, en contraste con las otras ciudades que se encuentran ya sea al norte o al sur de esta urbe en que las emisiones son menores o prácticamente no se producen emisiones por quemas agrícolas e incendios forestales.

Por otro lado, las emisiones correspondientes a los incendios forestales en las ciudades del estudio son muy bajas con respecto a otras ciudades que se encuentran en la costa.

## 7.2 Resultados Fuentes Móviles

La estimación de las emisiones proveniente del sector fuentes móviles en ruta para las ciudades de La Calera, Nogales e Hijuelas se realizó sobre la base de la información generada por la modelación de asignación del programa SATURN.

### 7.2.1 Caracterización de flujos

Con el objetivo de complementar la información obtenida y procesada de los archivos del modelo SATURN, se realizó una caracterización de flujos vehiculares que permitió generar y organizar una gran cantidad de información sobre el nivel de actividad de las fuentes móviles en ruta.

Esta caracterización permitió en definitiva analizar el comportamiento del flujo a lo largo del día (perfiles de flujo diario) y desagregar las diferentes categorías vehiculares de acuerdo al estudio realizado por la consultora.

La recolección de los antecedentes de tráfico vehicular en las ciudades mencionadas anteriormente, se realizaron considerando puntos de control manuales en las principales arterias de las ciudades. En la tabla 14 se identifican los 4 puntos de control manual los cuales corresponden a las siguientes intersecciones:

**Tabla 14:** Identificación de Puntos de Control (PC)

<b>Intersección</b>	<b>Ciudad</b>
Bifurcación Carrera con Caupolicán	La Calera
Puente 19 de Junio	La Calera
Juan Rusque sobre puente estero Nogales	Nogales
Avda. Copiapó con Manuel Rodríguez	Hijuelas

*Fuente: ICR Consultores*

Esta recolección de antecedentes permitió controlar la participación de cada una de las categorías en condiciones de tráfico normal, asignando porcentajes de participación en el flujo total.

Esta desagregación es el resultado de haber integrado las bases de plantas de revisión técnica con la caracterización de flujos en terreno.

La tabla 15 muestra la distribución según categorías y tipo de flujo (variable o fijo) que fue utilizada para la desagregación del flujo total en el cálculo de emisiones.

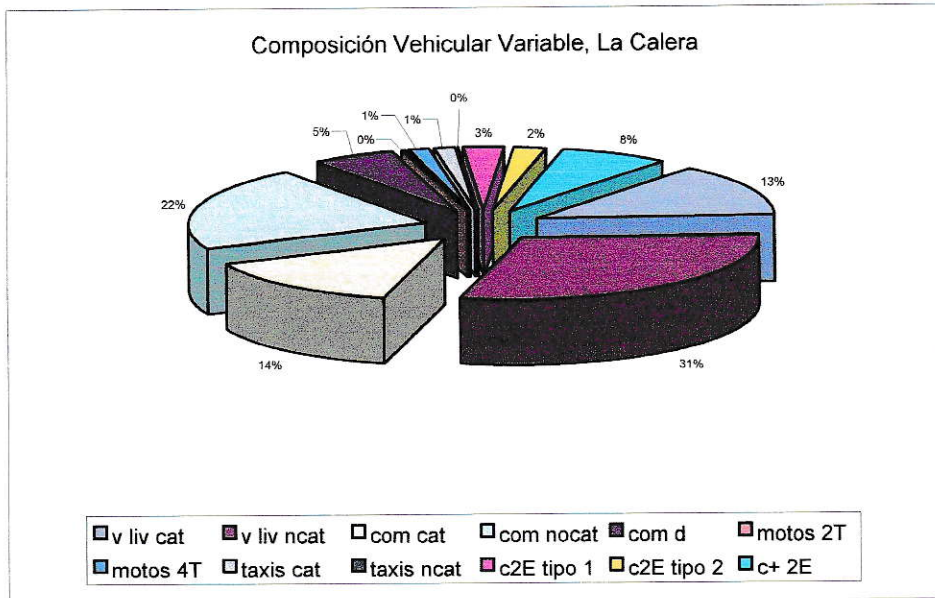
Desde las figuras 13 a la 18 muestra la misma composición de flujo en gráficos de torta con las principales categorías de interés para las tres ciudades respectivamente.



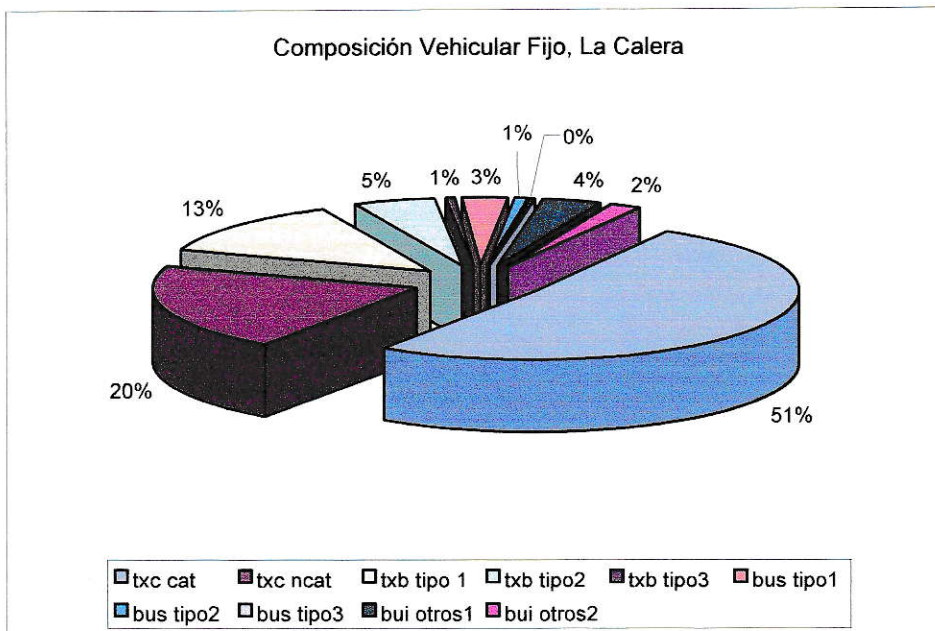
**Tabla 15:** Composición flujo vehicular<sup>7</sup>

	<b>Categoría total</b>	<b>Categoría desagregada</b>	<b>% Participación La Calera</b>	<b>% Participación Nogales</b>	<b>% Participación Hijuelas</b>
<b>Variable</b>	Vehículo Liviano Particular (VLP)	VLP catalítico	14.35	11.35	11.5
		VLP no catalítico	32.32	25.58	25.91
	Vehículo Liviano Comercial (VLC)	VLC catalítico	15.48	12.25	12.41
		VLC no catalítico	23.40	18.52	18.75
		VLC diesel	5.87	4.65	4.71
	Taxi (Alquiler)	Taxi catalítico	1.31	5.57	1.43
		Taxi no catalítico	0.22	0.93	0.23
	Camión Liviano	Camión Liviano Diesel	3.01	11.47	13.74
	Camión Mediano	Camión Mediano Diesel	2.14	8.16	9.78
	Camión Pesado	Camión Pesado Diesel	8.26	18.05	22.17
Motos	Motos 2 Tiempos Conv.	0.38	0.3	0.3	
	Motos 4 Tiempos Conv.	1.48	1.17	1.19	
<b>TOTAL % VARIABLE</b>			<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Fijo</b>	Colectivo	Colectivo catalítico	47.26	16.52	32.91
		Colectivo no catalítico	18.63	6.51	12.98
	Taxi Buses	Taxi Bus T1	12.10	32.57	11.91
		Taxi Bus T2	4.48	12.05	4.41
		Taxi Bus T3	0.6	1.62	0.59
	Buses	Buses T1	2.45	4.51	1.35
		Buses T2	0.9	1.66	0.50
		Buses T3	0.12	0.22	0.06
		Otros Buses T1	3.41	4.13	8.66
Otros Buses T2		1.73	2.10	4.40	
<b>TOTAL % FIJO</b>			<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

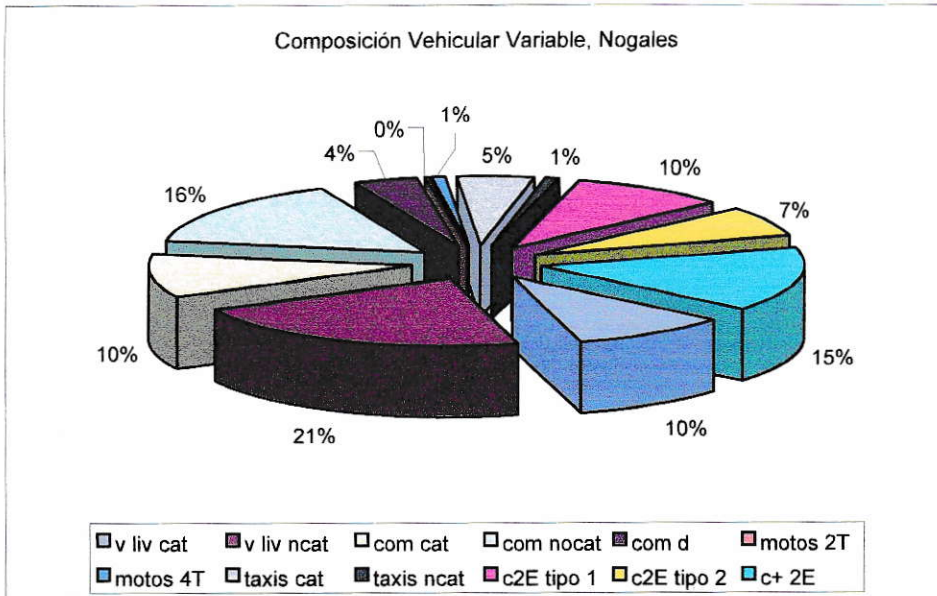
<sup>7</sup> Composición vehicular período punta mañana.



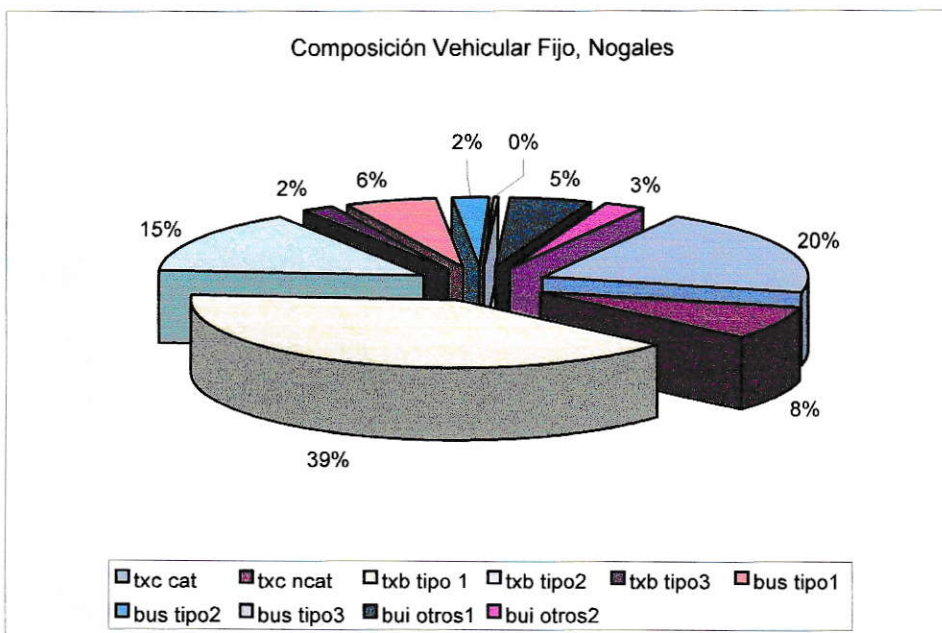
**Figura 13:** Composición del flujo variable vehicular en La Calera



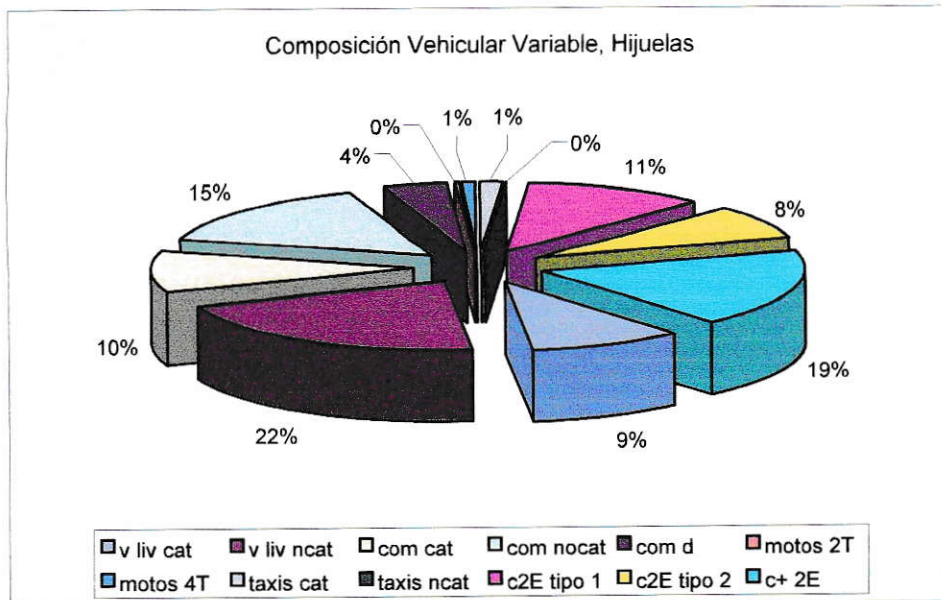
**Figura 14:** Composición del flujo fijo vehicular en La Calera



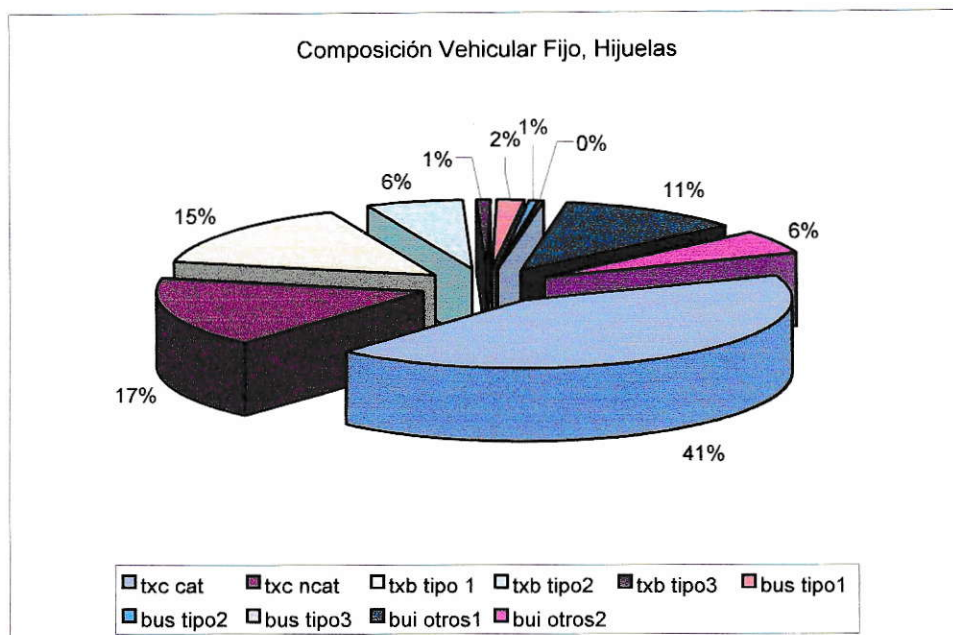
**Figura 15:** Composición del flujo variable vehicular en Nogales



**Figura 16:** Composición del flujo fijo vehicular en Nogales



**Figura 17:** Composición del flujo variable vehicular en Hijuelas



**Figura 18:** Composición del flujo fijo vehicular en Hijuelas

En el cálculo de emisiones se asumió que la composición de flujos vehiculares es constante durante el día.

La expresión PM corresponde a Punta Mañana y se entiende como punta a aquellas horas en que se presentan los más altos índices de flujos vehiculares en la red.



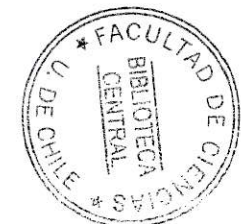
### **7.2.2 Emisiones de las fuentes móviles**

En la serie de tablas a continuación, se presentan las estimaciones de emisiones anuales totales para cada una de las categorías vehiculares consideradas. Las emisiones mostradas en la tabla corresponden a las emisiones totales estimadas por MODEM, para la actividad vehicular generada en la red vial de La Calera, Nogales e Hijuelas las cuales incorporan las emisiones de tubo de escape en caliente, polvo natural, desgaste de frenos y desgaste de neumáticos, éstas tres últimas consideradas para las PTS.

Los gráficos que se muestran a continuación de las tablas, muestran el nivel de emisiones asociados a cada contaminante a las tres comunas en estudio a modo comparativo.

**Tabla 16:** Emisiones Totales de vehículos en ruta, ton/año. La Calera

TIPO DE DESCARGA		POR TUBO DE ESCAPE								
CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA	NH <sub>3</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	COV	SO <sub>x</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	PM10	PM2,5
PARTICULARES	Catalíticos	0,8815	18,4640	2429,5183	3,1512	15,2678	0,6674	4,3857	0,0000	0,0000
	No Catalíticos	0,0567	1088,8882	6220,4213	138,3493	39,2759	0,1419	58,5576	0,0000	0,0000
TAXIS	Catalíticos	0,0579	1,1084	159,7233	0,3185	1,0037	0,0438	0,2760	0,0000	0,0000
	No Catalíticos	0,0003	4,6311	30,3339	0,3445	0,1915	0,0007	0,2836	0,0000	0,0000
COMERCIALES	Catalíticos	0,9511	55,5800	3808,0342	3,9262	23,9346	0,7201	6,9858	0,0000	0,0000
	No Catalíticos	0,0103	79,5057	1443,4494	13,0999	9,0853	0,0309	16,3961	0,0000	0,0000
	Diesel	0,0205	9,3917	4464,8936	2,3465	142,3240	0,3491	22,7604	1,8996	1,7476
CAMIONES	Livianos	0,0067	5,2592	772,2096	2,9504	24,6259	0,0670	7,1657	0,6137	0,5646
	Medianos	0,0048	3,7485	895,8839	2,1028	28,5645	0,0478	8,5222	0,8600	0,7912
	Pesados	0,0078	6,1119	2347,8128	3,4277	74,8477	0,0779	28,7091	1,7215	1,5838
MOTOCICLETAS	2 Tiempos	0,0026	32,7560	134,1159	11,3560	0,8487	0,0026	0,1026	0,0000	0,0000
	4 Tiempos	0,0007	7,8010	48,1024	0,3800	0,3041	0,0007	0,0806	0,0000	0,0000
COLECTIVOS	Catalíticos	0,5453	13,5668	1858,4867	3,5779	11,6796	0,4129	3,2463	0,0000	0,0000
	No Catalíticos	0,0061	68,0704	829,4499	11,4381	5,2272	0,0154	6,7966	0,0000	0,0000
BUSES	Interurbano Diesel Convencional	0,0018	1,7499	434,9067	1,0438	13,8665	0,0183	6,6699	0,3572	0,3286
	Interurbano Diesel Tipo 1	0,0007	0,3561	160,9575	0,1931	5,1310	0,0068	1,3574	0,0859	0,0790
	Interurbano Diesel Tipo 2	0,0001	0,0393	21,7273	0,0235	0,6926	0,0009	0,1333	0,0045	0,0041
	Rurales Diesel Convencional	0,0029	3,4994	495,0045	1,0777	15,7850	0,0290	11,8035	0,7387	0,6796
	Rurales Diesel Tipo 2	0,0015	0,7117	479,6166	0,3836	15,2880	0,0147	3,0009	0,0977	0,0899
	Urbanos Diesel VTT	0,0068	9,3447	1242,6042	3,1319	39,6267	0,0684	30,0687	1,9684	1,8109
	Urbanos Diesel Tipo 1	0,0025	1,7300	533,2984	0,8697	17,0018	0,0253	7,7933	0,3080	0,2833
Urbanos Diesel Tipo 2	0,0003	0,1869	118,3783	0,1096	3,7734	0,0034	0,7516	0,0256	0,0235	
<b>TOTALES</b>		<b>2,5690</b>	<b>1412,5010</b>	<b>28928,9287</b>	<b>203,6018</b>	<b>488,3456</b>	<b>2,7449</b>	<b>225,8469</b>	<b>8,6806</b>	<b>7,9862</b>



**Tabla 17:** Emisiones Totales de vehículos en ruta, ton/año. La Calera

TIPO DE DESCARGA		POLVO NATURAL		DESGASTE DE FRENOS	DESGASTE NEUMÁTICOS
CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA	PM10	PM2,5	PM10	PM10
PARTICULARES	Catalíticos	20,3171	4,8584	0,1023	0,0630
	No Catalíticos	45,7763	10,9465	0,2305	0,1419
TAXIS	Catalíticos	1,3342	0,3190	0,0067	0,0041
	No Catalíticos	0,2230	0,0533	0,0011	0,0007
COMERCIALES	Catalíticos	21,9220	5,2422	0,1104	0,0679
	No Catalíticos	8,3214	1,9899	0,0419	0,0258
	Diesel	33,1334	7,9232	0,1669	0,1027
CAMIONES	Livianos	3,6045	0,8620	0,0181	0,0168
	Medianos	2,5691	0,6143	0,0129	0,0119
	Pesados	4,1902	1,0020	0,0211	0,0195
MOTOCICLETAS	2 Tiempos	2,0956	0,5011	0,0106	0,0032
	4 Tiempos	0,5407	0,1293	0,0028	0,0008
COLECTIVOS	Catalíticos	14,1382	3,3809	0,0633	0,0390
	No Catalíticos	5,5750	1,3331	0,0250	0,0154
BUSES	Interurbano Diesel Convencional	0,9494	0,2270	0,0050	0,0031
	Interurbano Diesel Tipo 1	0,3513	0,0840	0,0018	0,0011
	Interurbano Diesel Tipo 2	0,0474	0,0113	0,0002	0,0002
	Rurales Diesel Convencional	1,5015	0,3591	0,0078	0,0048
	Rurales Diesel Tipo 2	0,7635	0,1826	0,0040	0,0025
	Urbanos Diesel VTT	3,9283	0,9394	0,0185	0,0114
	Urbanos Diesel Tipo 1	1,4545	0,3478	0,0069	0,0042
	Urbanos Diesel Tipo 2	0,1964	0,0470	0,0009	0,0006
<b>TOTALES</b>		<b>172,9330</b>	<b>41,3535</b>	<b>0,8587</b>	<b>0,5404</b>



**Tabla 18:** Emisiones Totales de vehículos en ruta, ton/año. Nogales

TIPO DE DESCARGA		POR TUBO DE ESCAPE								
CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA	NH3	CO	CO2	COV	SOx	N2O	NOx	PM10	PM2,5
PARTICULARES	Catalíticos	0,4994	8,7111	1135,7605	1,6608	7,1373	0,3781	2,0798	0,0000	0,0000
	No Catalíticos	0,0321	970,8070	2906,2755	75,2626	18,4466	0,0804	34,6473	0,0000	0,0000
TAXIS	Catalíticos	0,1125	1,6231	257,5271	0,5473	1,6184	0,0852	0,4296	0,0000	0,0000
	No Catalíticos	0,0005	14,9013	48,8728	0,6248	0,3102	0,0013	0,5759	0,0000	0,0000
COMERCIALES	Catalíticos	0,5387	43,1253	2294,6568	2,1161	14,4241	0,4079	4,6099	0,0000	0,0000
	No Catalíticos	0,0218	230,5410	3244,1976	56,2870	20,4271	0,0653	39,6631	0,0000	0,0000
	Diesel	0,0037	2,4658	955,8547	0,4022	30,4697	0,0623	4,5503	0,5339	0,4912
CAMIONES	Livianos	0,0138	8,6329	1993,0432	4,6946	63,5446	0,1380	19,5771	1,0044	0,9241
	Medianos	0,0098	6,1382	2074,0981	3,3380	66,1230	0,0981	16,4542	1,3982	1,2864
	Pesados	0,0236	14,7743	7412,1877	8,0418	236,2838	0,2359	71,3940	4,1509	3,8189
MOTOCICLETAS	2 Tiempos	0,0005	6,4363	27,1122	2,0224	0,1725	0,0005	0,0291	0,0000	0,0000
	4 Tiempos	0,0014	18,8046	135,2674	0,7469	0,8544	0,0014	0,2389	0,0000	0,0000
COLECTIVOS	Catalíticos	0,0386	1,0893	107,6311	0,3423	0,6764	0,0292	0,1973	0,0000	0,0000
	No Catalíticos	0,0004	10,4170	47,8734	1,4960	0,3029	0,0011	0,4693	0,0000	0,0000
BUSES	Interurbano Diesel Convencional	0,0017	1,0566	372,0047	0,6191	11,8596	0,0174	5,2754	0,2256	0,2075
	Interurbano Diesel Tipo 1	0,0006	0,2152	137,7788	0,1146	4,3919	0,0064	1,0745	0,0543	0,0499
	Interurbano Diesel Tipo 2	0,0001	0,0237	18,5676	0,0139	0,5918	0,0009	0,1053	0,0028	0,0026
	Rurales Diesel Convencional	0,0018	1,4399	241,2741	0,3989	7,6931	0,0180	5,4774	0,3052	0,2808
	Rurales Diesel Tipo 2	0,0009	0,2928	233,7287	0,1420	7,4500	0,0092	1,3924	0,0404	0,0371
	Urbanos Diesel VTT	0,0028	2,9776	433,0060	0,9537	13,8078	0,0277	10,1944	0,6285	0,5782
	Urbanos Diesel Tipo 1	0,0010	0,5512	185,8314	0,2648	5,9242	0,0103	2,6422	0,0983	0,0905
	Urbanos Diesel Tipo 2	0,0001	0,0595	41,2491	0,0334	1,3148	0,0014	0,2548	0,0082	0,0075
<b>TOTALES</b>		<b>1,3059</b>	<b>1345,0841</b>	<b>24303,7985</b>	<b>160,1230</b>	<b>513,8243</b>	<b>1,6758</b>	<b>221,3321</b>	<b>8,4507</b>	<b>7,7747</b>



**Tabla 19:** Emisiones Totales de vehículos en ruta, ton/año. Nogales

TIPO DE DESCARGA		POLVO NATURAL		DESGASTE DE FRENOS	DESGASTE NEUMÁTICOS
CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA	PM10	PM2,5	PM10	PM10
PARTICULARES	Catalíticos	11,4357	2,7346	0,0580	0,0357
	No Catalíticos	25,7657	6,1613	0,1306	0,0804
TAXIS	Catalíticos	2,5822	0,6175	0,0131	0,0080
	No Catalíticos	0,4316	0,1032	0,0022	0,0013
COMERCIALES	Catalíticos	12,3376	2,9503	0,0625	0,0385
	No Catalíticos	17,4981	4,1843	0,0885	0,0545
	Diesel	5,8324	1,3947	0,0298	0,0183
CAMIONES	Livianos	7,3907	1,7673	0,0374	0,0345
	Medianos	5,2550	1,2566	0,0266	0,0245
	Pesados	12,6354	3,0215	0,0639	0,0590
MOTOCICLETAS	2 Tiempos	1,1177	0,0906	0,0019	0,0006
	4 Tiempos	0,9105	0,2673	0,0057	0,0017
COLECTIVOS	Catalíticos	0,9265	0,2216	0,0045	0,0028
	No Catalíticos	0,3649	0,0873	0,0018	0,0011
BUSES	Interurbano Diesel Convencional	0,9105	0,2177	0,0047	0,0029
	Interurbano Diesel Tipo 1	0,3372	0,0806	0,0017	0,0011
	Interurbano Diesel Tipo 2	0,0454	0,0109	0,0002	0,0001
	Rurales Diesel Convencional	0,9455	0,2261	0,0049	0,0030
	Rurales Diesel Tipo 2	0,4807	0,1149	0,0025	0,0015
	Urbanos Diesel VTT	1,9902	0,4759	0,0075	0,0046
	Urbanos Diesel Tipo 1	0,7369	0,1762	0,0028	0,0017
	Urbanos Diesel Tipo 2	0,0995	0,0238	0,0004	0,0002
<b>TOTALES</b>		<b>110,0299</b>	<b>26,1843</b>	<b>0,5510</b>	<b>0,3760</b>

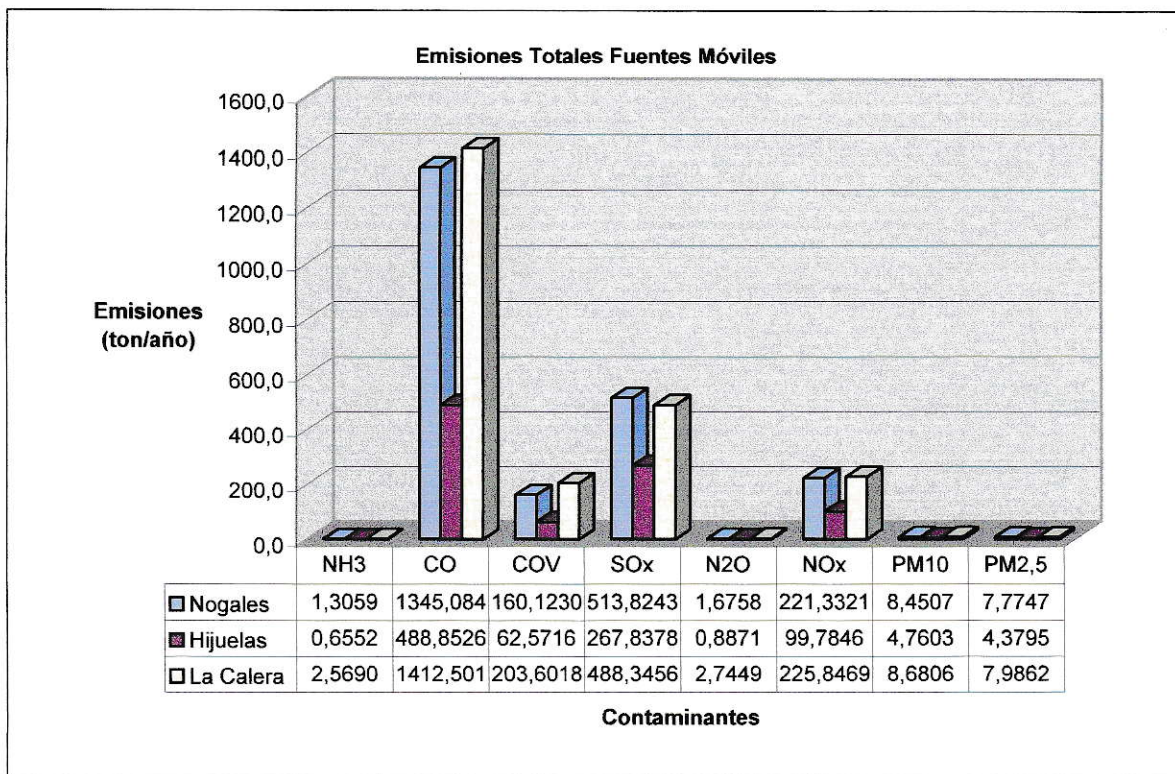
**Tabla 20:** Emisiones Totales de vehículos en ruta, ton/año. Hijuelas

TIPO DE DESCARGA		POR TUBO DE ESCAPE								
CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA	NH3	CO	CO2	COV	SOx	N2O	NOx	PM10	PM2,5
PARTICULARES	Catalíticos	0,2522	4,5181	601,9551	0,8763	3,7828	0,1910	1,1170	0,0000	0,0000
	No Catalíticos	0,0162	385,1480	1544,9627	39,0249	9,7766	0,0406	16,6842	0,0000	0,0000
TAXIS	Catalíticos	0,0231	0,3039	55,3618	0,1045	0,3479	0,0175	0,0902	0,0000	0,0000
	No Catalíticos	0,0001	2,0650	10,5353	0,0842	0,0667	0,0003	0,1132	0,0000	0,0000
COMERCIALES	Catalíticos	0,2722	22,1543	1074,2584	1,5366	6,7520	0,2061	2,4491	0,0000	0,0000
	No Catalíticos	0,0030	29,8074	407,1945	5,2146	2,5630	0,0089	5,1192	0,0000	0,0000
	Diesel	0,0059	3,1250	1348,2440	0,6397	42,9773	0,0999	6,6787	0,6618	0,6088
CAMIONES	Livianos	0,0072	4,7578	920,6007	2,5151	29,3536	0,0723	8,7641	0,5531	0,5088
	Medianos	0,0048	3,1833	949,7194	1,6817	30,2784	0,0484	7,8831	0,7233	0,6654
	Pesados	0,0126	8,2957	3808,8926	4,3960	121,4208	0,1258	40,1865	2,3291	2,1427
MOTOCICLETAS	2 Tiempos	0,0007	9,8074	40,3792	3,1666	0,2562	0,0007	0,0381	0,0000	0,0000
	4 Tiempos	0,0002	2,3934	16,2972	0,1000	0,1030	0,0002	0,0286	0,0000	0,0000
COLECTIVOS	Catalíticos	0,0530	1,2550	145,8670	0,4573	0,9167	0,0402	0,3020	0,0000	0,0000
	No Catalíticos	0,0006	9,6284	65,4300	2,0375	0,4130	0,0015	0,6454	0,0000	0,0000
BUSES	Interurbano Diesel Convencional	0,0002	0,0911	39,2203	0,0509	1,2503	0,0019	0,5359	0,0210	0,0193
	Interurbano Diesel Tipo 1	0,0001	0,0185	14,5106	0,0094	0,4625	0,0007	0,1090	0,0051	0,0046
	Interurbano Diesel Tipo 2	0,0000	0,0020	1,9566	0,0011	0,0624	0,0001	0,0107	0,0003	0,0002
	Rurales Diesel Convencional	0,0011	0,7762	144,8676	0,1612	4,6188	0,0112	3,2294	0,1654	0,1521
	Rurales Diesel Tipo 2	0,0006	0,1578	140,3051	0,0573	4,4721	0,0057	0,8208	0,0219	0,0201
	Urbanos Diesel VTT	0,0010	1,1321	163,8443	0,3478	5,2247	0,0100	3,8776	0,2391	0,2200
	Urbanos Diesel Tipo 1	0,0004	0,2096	70,3163	0,0966	2,2416	0,0037	1,0050	0,0374	0,0344
	Urbanos Diesel Tipo 2	0,0001	0,0226	15,6081	0,0122	0,4975	0,0005	0,0969	0,0031	0,0029
<b>TOTALES</b>		<b>0,6552</b>	<b>488,8526</b>	<b>11580,3267</b>	<b>62,5716</b>	<b>267,8378</b>	<b>0,8871</b>	<b>99,7846</b>	<b>4,7603</b>	<b>4,3795</b>

**Tabla 21:** Emisiones Totales de vehículos en ruta, ton/año. Hijuelas

TIPO DE DESCARGA		POLVO NATURAL		DESGASTE DE FRENOS	DESGASTE NEUMÁTICOS
CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA	PM10	PM2,5	PM10	PM10
PARTICULARES	Catalíticos	6,0121	1,4377	0,0293	0,0180
	No Catalíticos	13,5458	3,2392	0,0660	0,0406
TAXIS	Catalíticos	0,5425	0,1297	0,0027	0,0017
	No Catalíticos	0,0907	0,0217	0,0004	0,0003
COMERCIALES	Catalíticos	6,4877	1,5514	0,0316	0,0194
	No Catalíticos	2,4627	0,5889	0,0120	0,0074
	Diesel	9,8056	2,3448	0,0477	0,0294
CAMIONES	Livianos	3,8731	0,9262	0,0196	0,0181
	Medianos	2,5955	0,6207	0,0131	0,0121
	Pesados	6,7055	1,6035	0,0341	0,0314
MOTOCICLETAS	2 Tiempos	0,6238	0,1492	0,0030	0,0009
	4 Tiempos	0,1609	0,0385	0,0008	0,0002
COLECTIVOS	Catalíticos	1,1733	0,2806	0,0062	0,0038
	No Catalíticos	0,4622	0,1105	0,0024	0,0015
BUSES	Interurbano Diesel Convencional	0,0990	0,0237	0,0005	0,0003
	Interurbano Diesel Tipo 1	0,0366	0,0088	0,0002	0,0001
	Interurbano Diesel Tipo 2	0,0049	0,0012	0,0000	0,0000
	Rurales Diesel Convencional	0,5804	0,1388	0,0030	0,0019
	Rurales Diesel Tipo 2	0,2950	0,0705	0,0015	0,0010
	Urbanos Diesel VTT	0,5323	0,1273	0,0027	0,0017
	Urbanos Diesel Tipo 1	0,1971	0,0471	0,0010	0,0006
	Urbanos Diesel Tipo 2	0,0266	0,0064	0,0001	0,0001
<b>TOTALES</b>		<b>56,3133</b>	<b>13,4662</b>	<b>0,2780</b>	<b>0,1905</b>





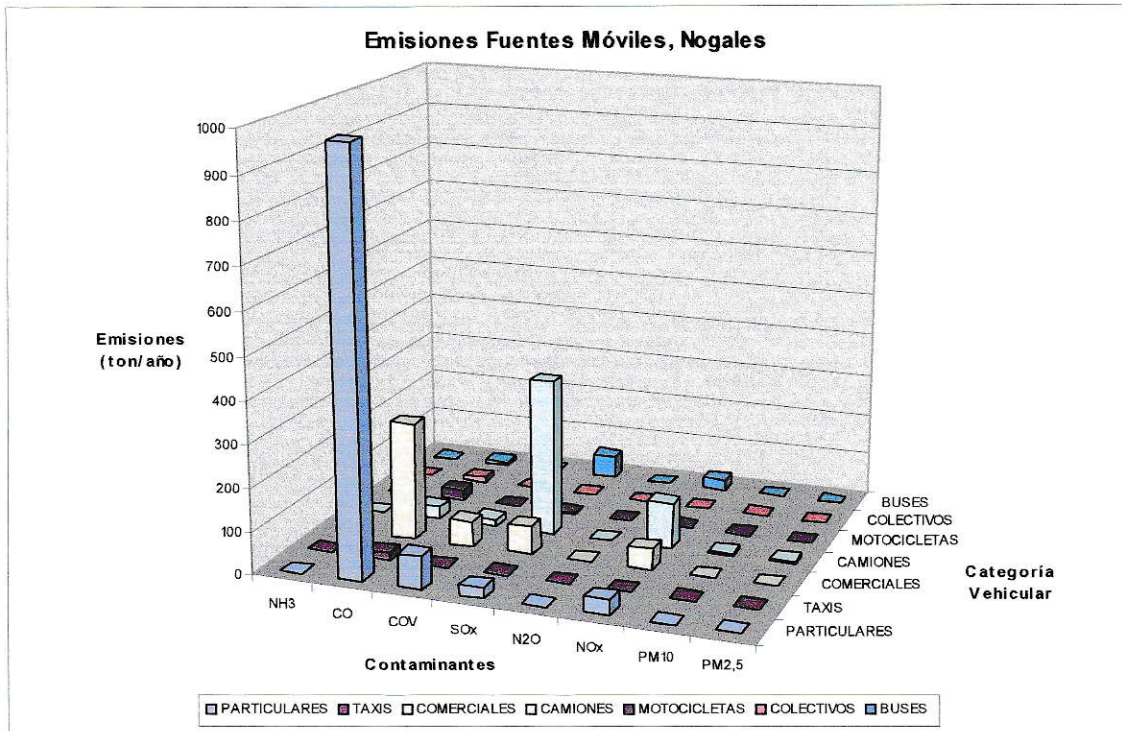
**Figura 19:** Representación gráfica del nivel de emisiones por contaminante para las comunas de Nogales, Hijuelas y La Calera.

Con respecto a los valores de emisión que presenta la figura anterior, cabe señalar las magnitudes altas de CO y en menor grado las de SO<sub>2</sub> (representado como SO<sub>x</sub>). En cuanto a las emisiones, se observa claramente que las mayores emisiones se producen en las comunas de La Calera y Nogales para todos los contaminantes, ciudades que presentan una mayor población y que representan focos de comercio como también puntos de viaje tanto para el sur como para el norte.

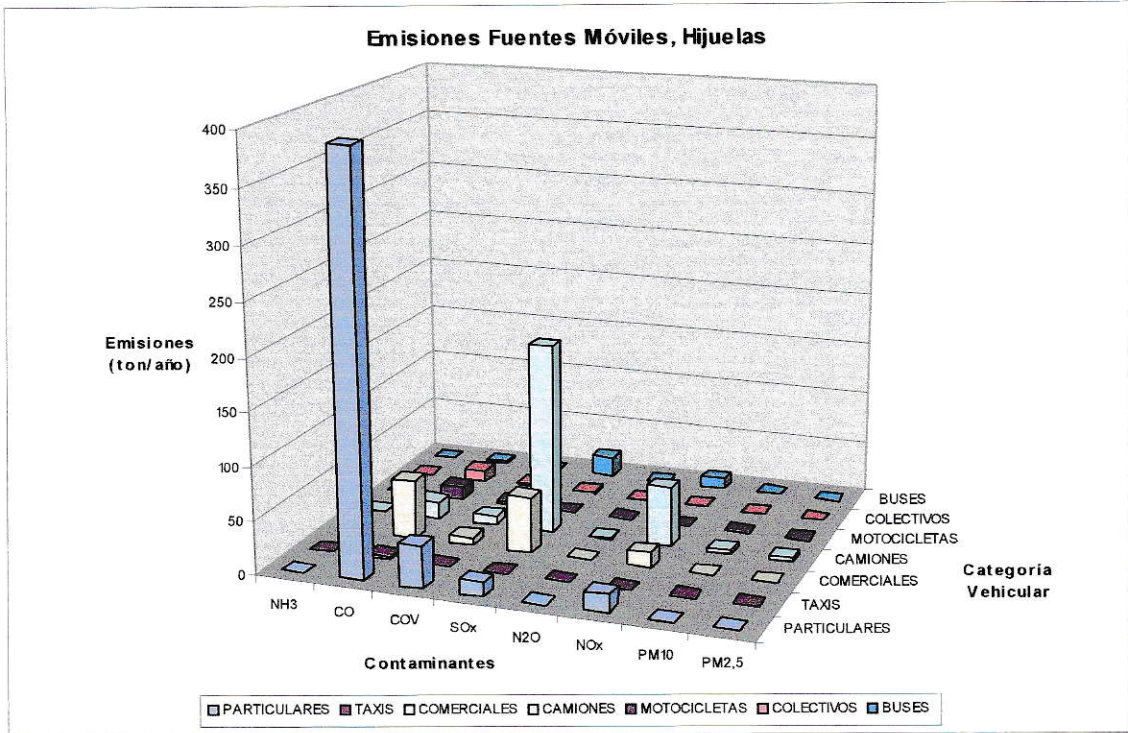
A continuación, en las siguientes figuras se presentan algunos resultados en forma gráfica para la identificación de responsabilidades sobre las emisiones totales de cada una de las categorías vehiculares.



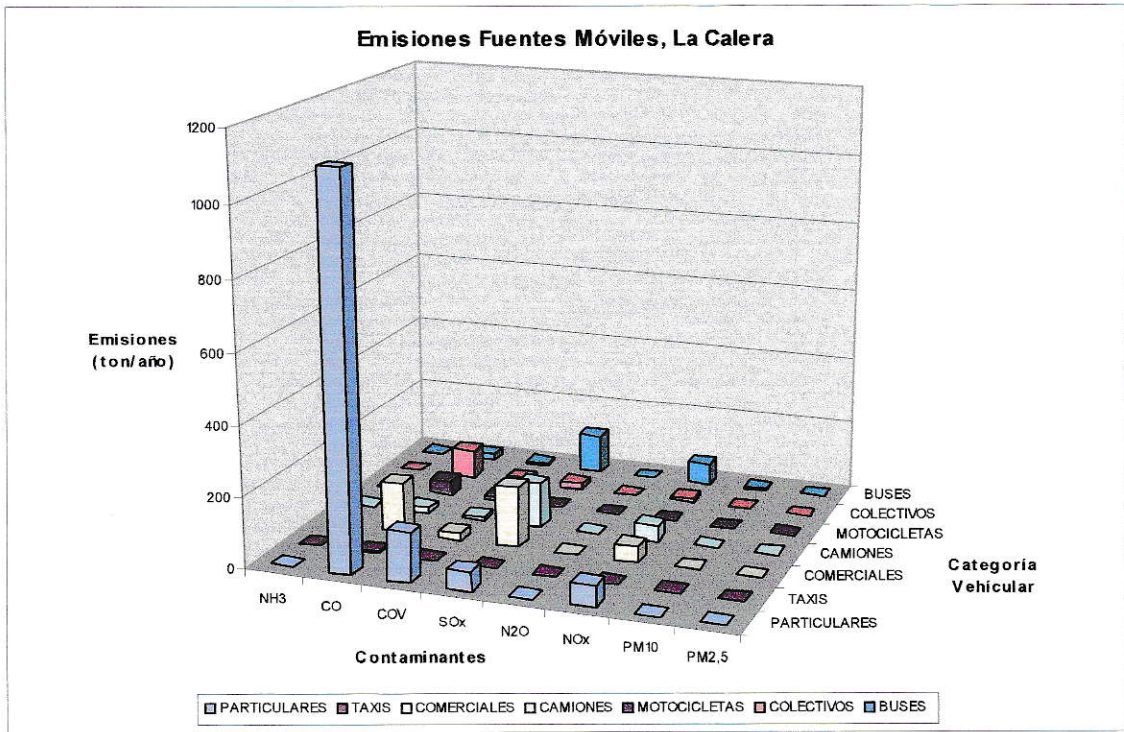
En el Anexo F se encuentran las figuras correspondientes por tipo de emisión y por tipo de contaminante.



**Figura 20:** Emisiones Fuentes Móviles, Nogales



**Figura 21:** Emisiones Fuentes Móviles, Hijuelas



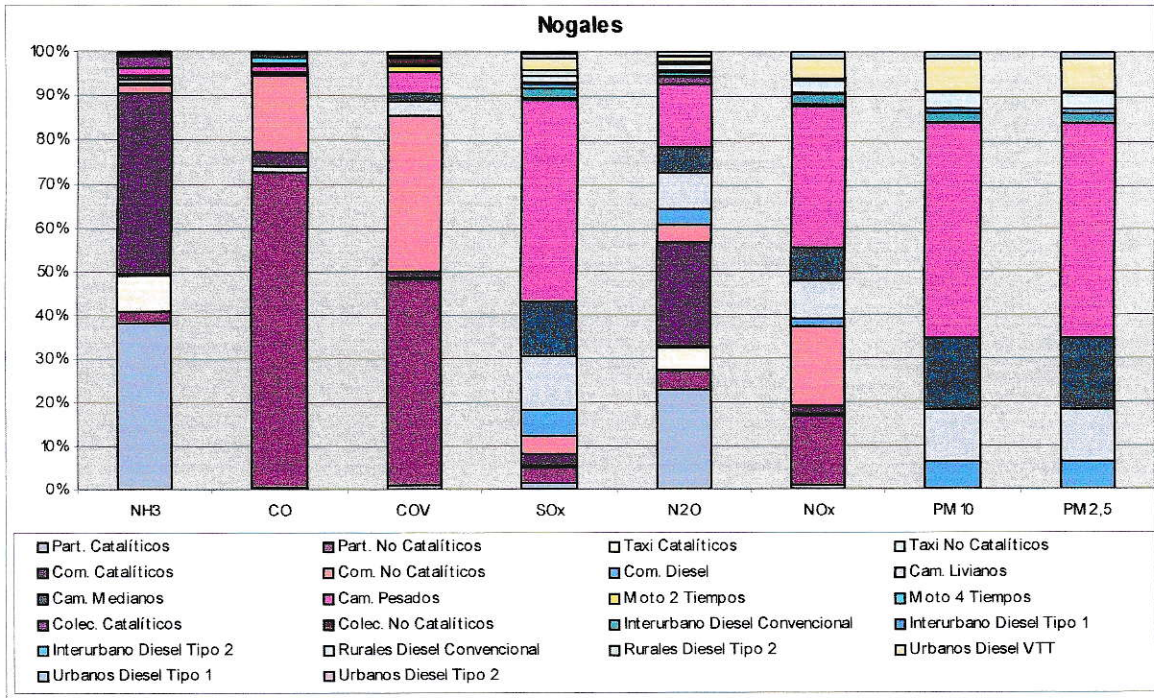
**Figura 22:** Emisiones Fuentes Móviles, La Calera

Las categoría vehiculares presentadas en las figuras anteriores se han agrupado en vehículos particulares, taxis, vehículos comerciales, camiones motocicletas, colectivos y buses.

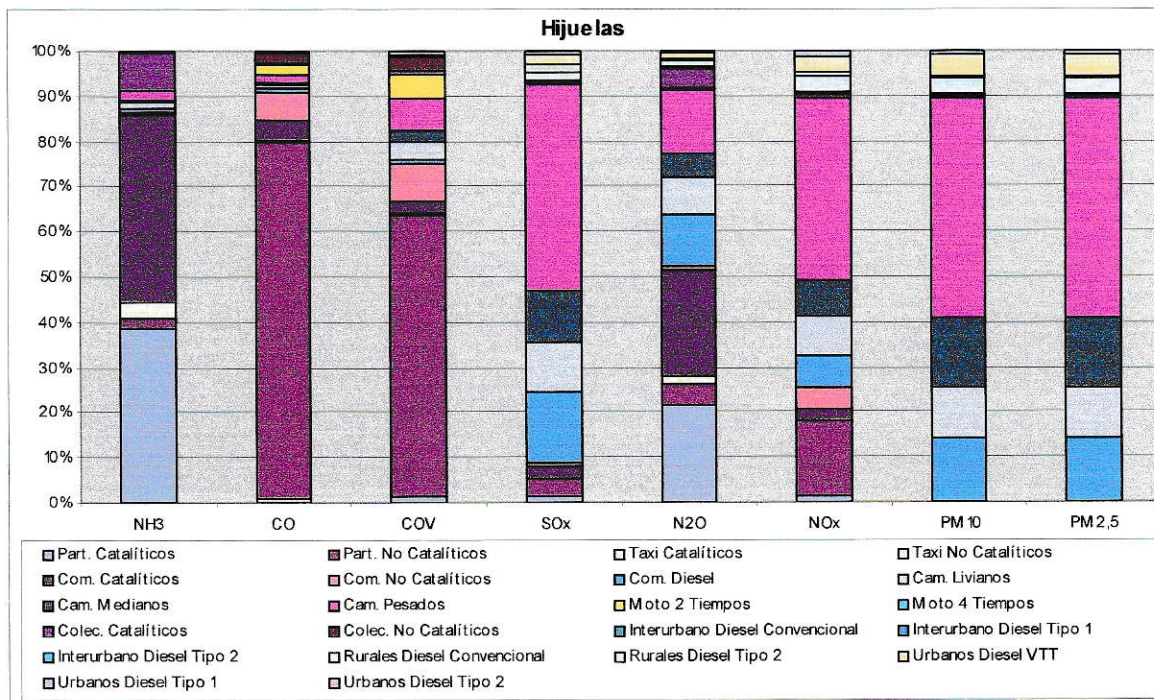
De los gráficos anteriores se puede decir que en las comunas de Nogales e Hijuelas los camiones son la mayor fuente emisora de SO<sub>2</sub> y en menor proporción los vehículos comerciales, en cuanto a la comuna de La Calera tanto los camiones como los vehículos comerciales y buses son las mayores fuentes emisoras de SO<sub>2</sub>. Para las tres comunas en estudio, los vehículos particulares son la mayor fuente emisora de CO en comparación con las otras categorías vehiculares.

En los gráficos siguientes se presentan las participaciones de las categorías vehiculares con el objetivo de identificar responsabilidades sobre las emisiones de las fuentes móviles.



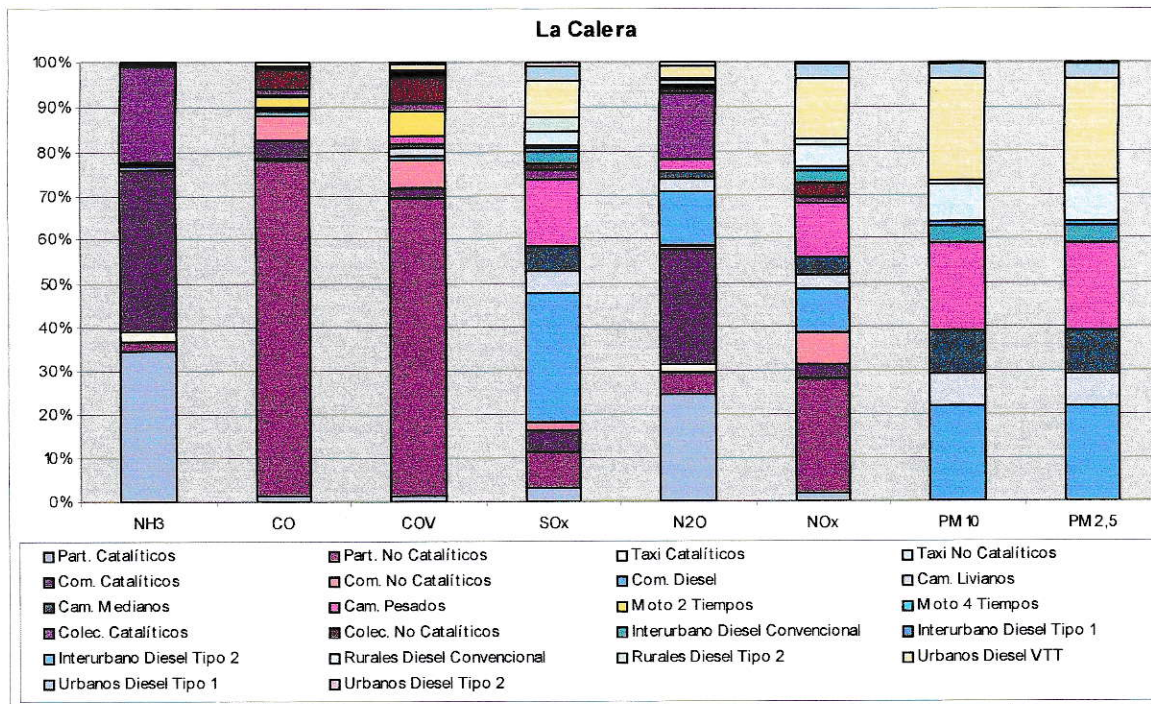


**Figura 23:** Participación de la emisión total, comuna de Nogales.



**Figura 24:** Participación de la emisión total, comuna de Hijuelas.





**Figura 25:** Participación de la emisión total, comuna de La Calera.

Los gráficos anteriores reflejan las distintas responsabilidades de las fuentes móviles frente a la emisión total. Hay que recordar que el aporte de emisión que registran las distintas fuentes está ligado íntimamente con el nivel de actividad de la fuente, vale decir, con el flujo que presenta. Además, se representan mediante una desagregación de las categorías vehiculares, ésta nueva categoría o subcategoría se divide en catalíticos, no catalíticos y diesel con el fin de conocer el grado de responsabilidad de cada una de estas subcategorías.

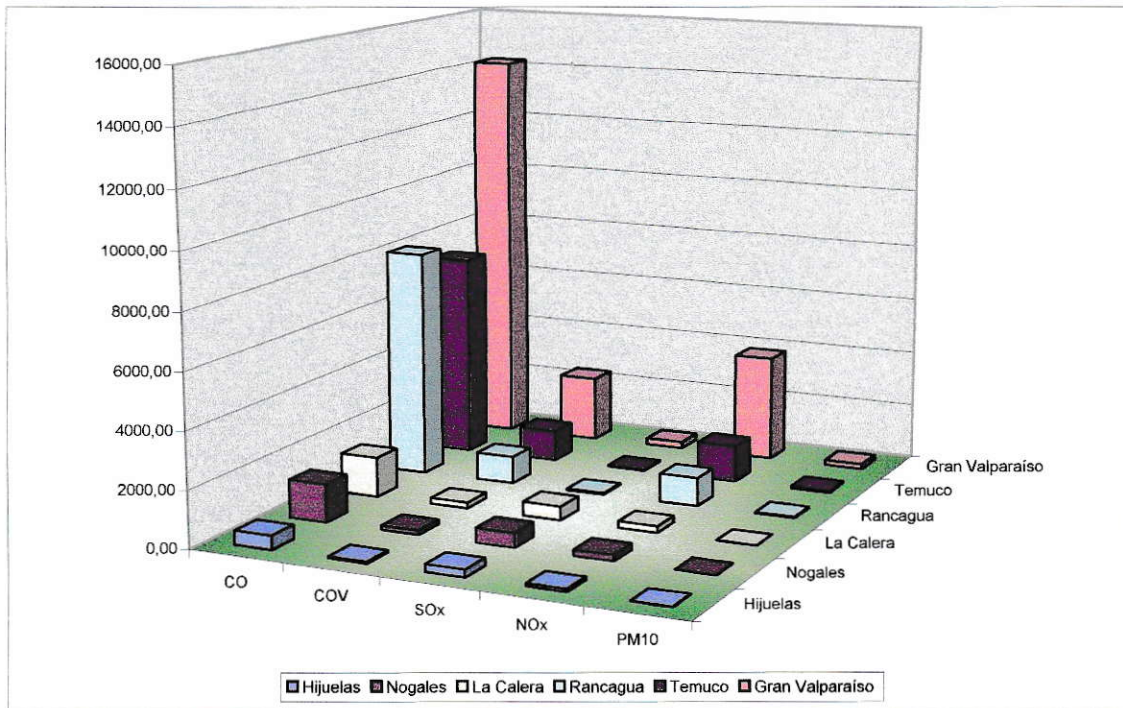
Como se desprende de los gráficos, los vehículos particulares no catalíticos presentan el mayor porcentaje promedio de participación total de emisión para los contaminantes CO, COV, en tanto los vehículos particulares catalíticos y comerciales catalíticos presentan mayor grado de responsabilidad para NH<sub>3</sub> y N<sub>2</sub>O.

Los camiones pesados presentan mayor grado de responsabilidad para  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2,5}$ , para las comunas de Nogales e Hijuelas, no obstante, para la comuna de La Calera son los buses urbanos, interurbanos y los camiones pesados los que presentan mayor grado de responsabilidad para  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2,5}$ , mientras que para  $\text{SO}_2$  el mayor grado de responsabilidad es para los buses interurbanos, para el  $\text{NO}_x$  las responsabilidades son compartidas, pero quien tiene mayor impacto son los vehículos particulares no catalíticos seguido muy cerca de los camiones pesados y los buses urbanos.

### **7.2.3 Análisis de validación de los resultados**

Al realizar un análisis comparativo entre las emisiones totales de La Calera, Nogales e Hijuelas con otras ciudades, entre las que destacan el Gran Valparaíso, Rancagua y Temuco, éstas ordenadas ascendentemente de acuerdo a la variable poblacional, se tiene que los valores de emisión presentan, en general, una tendencia de proporcionalidad directa entre el número de habitantes y emisiones totales.

Al comparar los valores de emisión de las ciudades en estudio con las otras ciudades aquí presentes, se desprende que los valores estimados en las ciudades en estudio concuerdan con la tendencia esperada.



**Figura 26:** Comparación de las emisiones totales.

### 7.3 Resultados de la Modelación

#### 7.3.1 Dominio de la simulación

La extensión del dominio de simulación considerado para la aplicación del modelo de dispersión, incluye las áreas donde se encuentran las principales fuentes puntuales de anhídrido sulfuroso. Esta área se encuentra entre  $32^{\circ} 30'$  y  $32^{\circ} 57'$  de Latitud Sur (6.400.000 Km. y 6.350.000 Km. Norte, en coordenadas UTM) y  $71^{\circ} 34'$  y  $70^{\circ} 48'$  longitud Oeste (330.000 Km. y 260.000 Km. en coordenadas UTM). Este dominio corresponde a un área de 70x50 Km. aproximadamente.

Esta zona antes mencionada comprende el Valle y la Cuenca del río Aconcagua, el cual cruza las provincias de Los Andes, San Felipe, Quillota y desemboca en la comuna de Concón. Como se observa en la figura 1 del capítulo N°1, a la altura de



Chagres, el valle se va ensanchando hacia las ciudades de Catemu al sur y Llayllay al norte. A partir de Llayllay, el valle vuelve a crecer formado una llanura. Siguiendo por el valle, al llegar a la ciudad de Hijuelas éste se curva al sur hasta las ciudades de La Calera y Nogales. El tramo inferior, a partir de Quillota se va estrechando, hasta llegar finalmente hasta Concón.

Esta extensión permitirá determinar un área de influencia de los impactos sobre la calidad del aire tanto para la ciudad de La Calera como para sus alrededores (especialmente para las ciudades de Nogales e Hijuelas).

En la tabla 22 se especifican los parámetros de la grilla de cálculo del dominio de extensión requerido para el modelo.

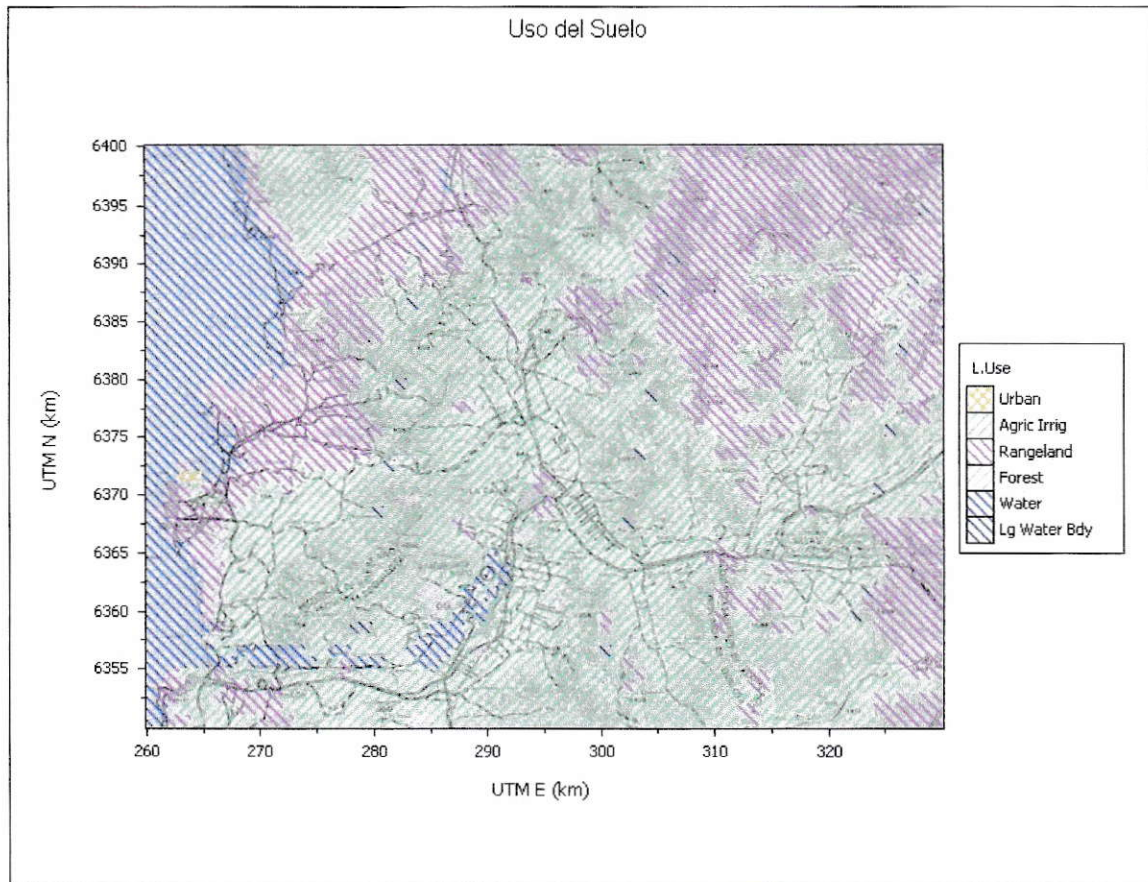
**Tabla 22:** Parámetros de la grilla de cálculo

Extensión E - O	260.000	330.000
Extensión N - S	6.350.000	6.400.000
Número de celdas en eje X y eje Y	70	50
Paso de celda en eje X y eje Y	1 Km.	1 Km.

*Fuente: Elaboración propia*

La siguiente figura muestra el uso de suelo dominante para cada celda de la grilla.





**Figura 27:** Uso del suelo del dominio simulado

### 7.3.2 Alcance meteorológico

Tal como se mencionó anteriormente en el punto 2.3.2, el alcance meteorológico considerado para la aplicación del modelo de dispersión correspondiente al período comprendido entre el 17 al 22 de enero y entre el 17 al 22 de mayo del 2000.

Los siguientes gráficos muestran las series de tiempo para el mes de mayo de los promedios horarios de concentración de  $\text{SO}_2$ , temperatura, velocidad del viento, humedad relativa y presión atmosférica observados de la estación de monitoreo La Planta, en La Calera, en el Anexo G se encuentran las series de tiempo para el mes de

enero en la estación Hijuelas y para el mes de mayo para ambas estaciones de monitoreo.

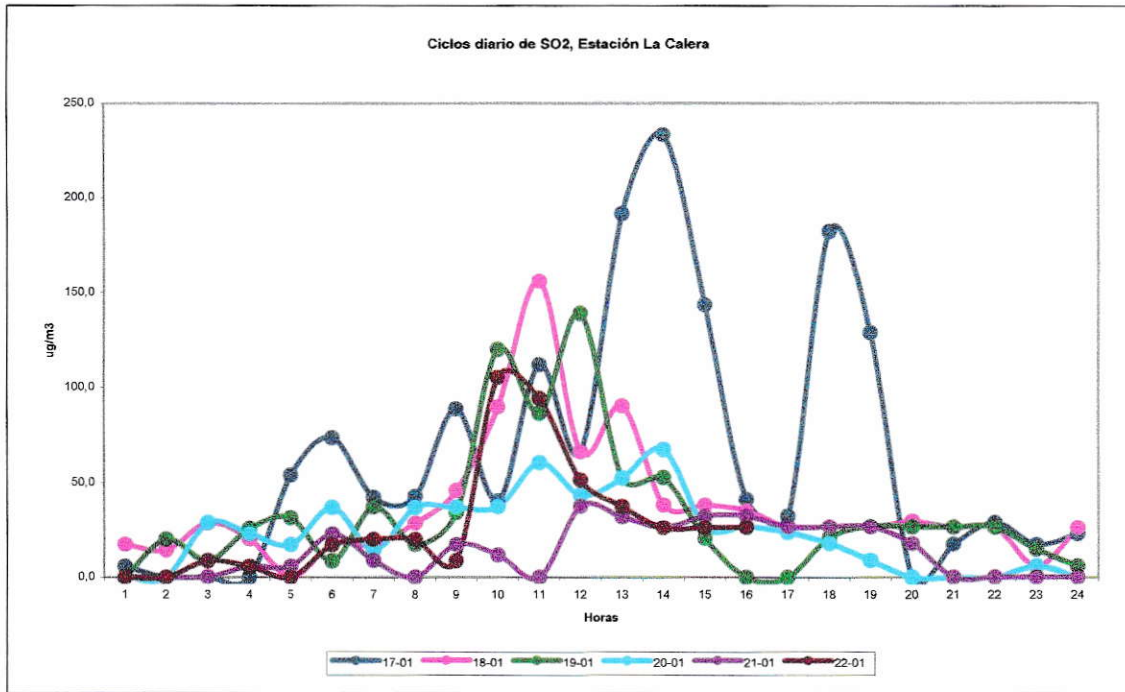


Figura 28: Ciclo diario de SO<sub>2</sub>, Estación La Calera

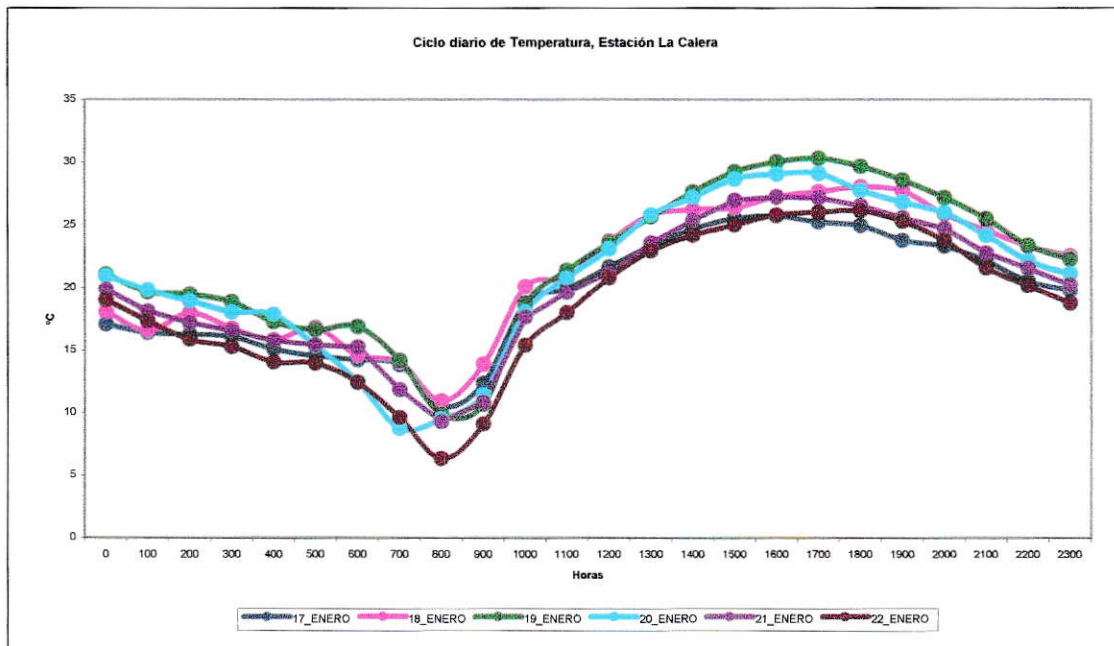
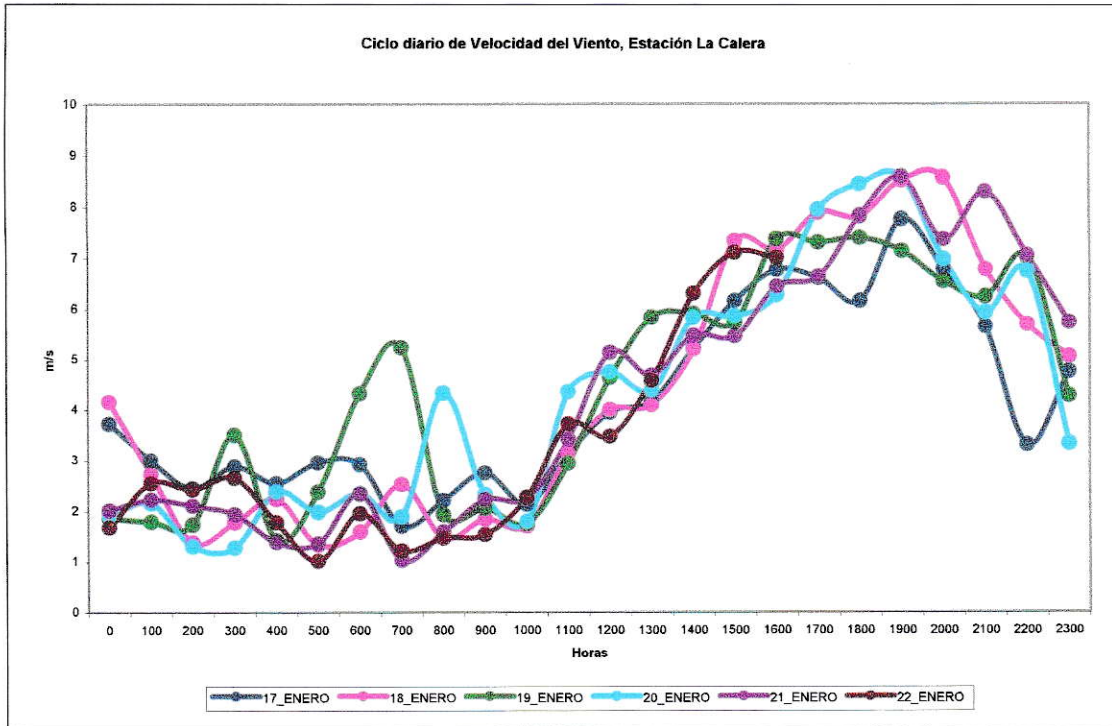
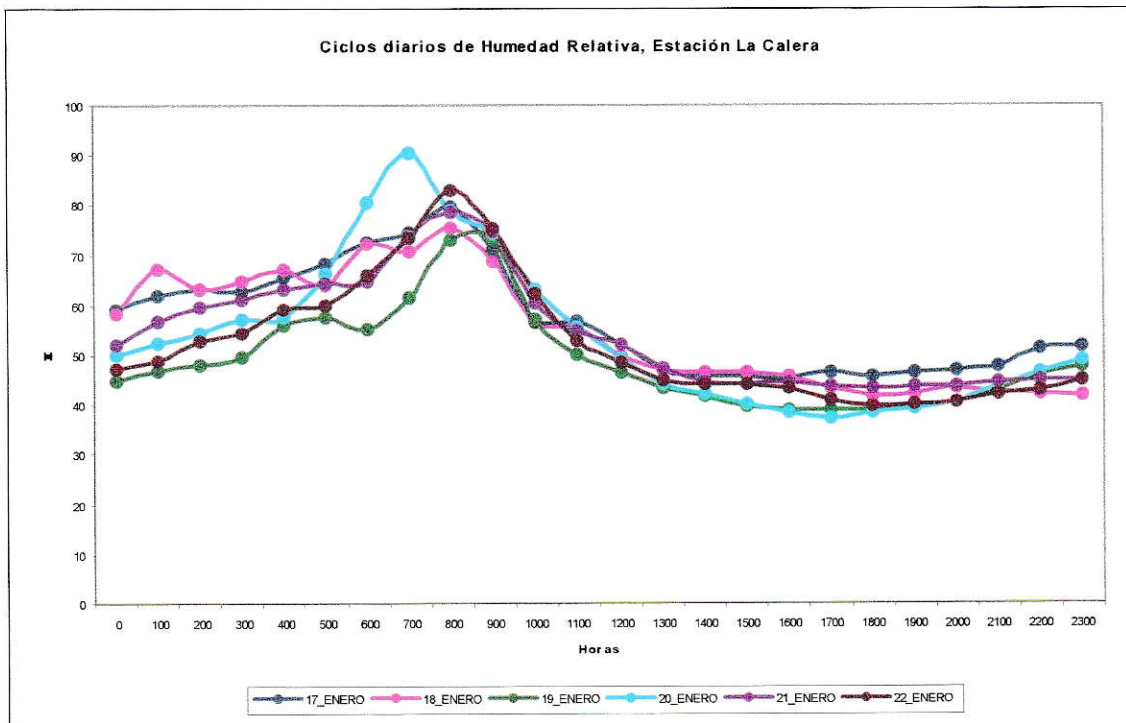


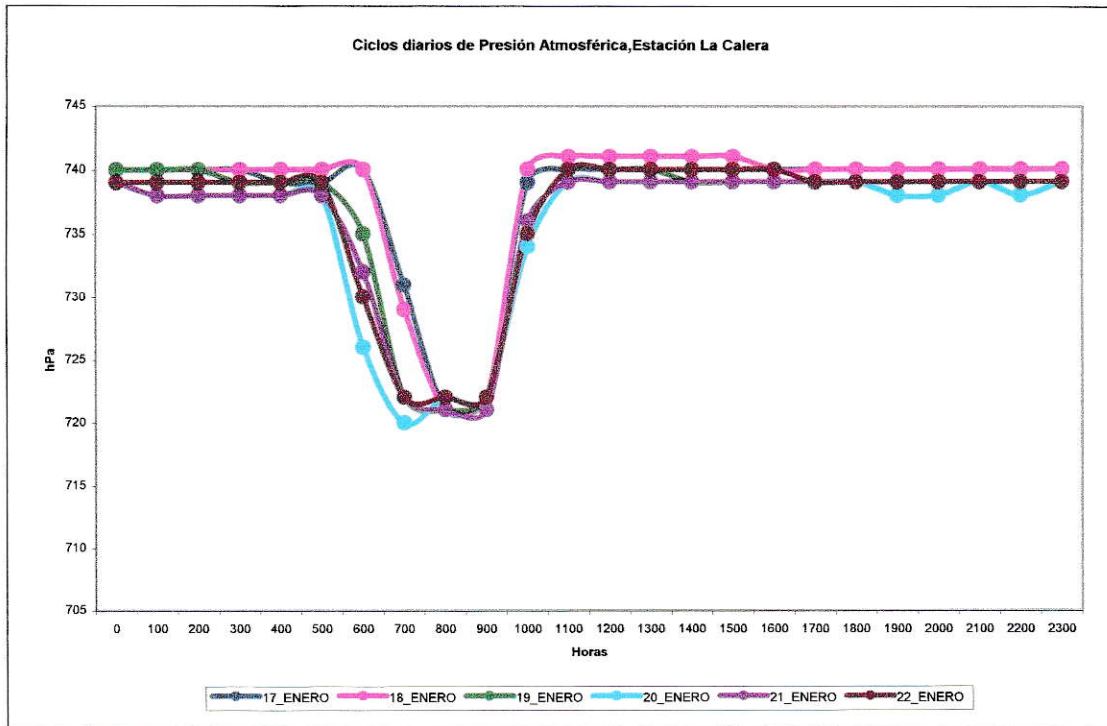
Figura 29: Ciclo diario de Temperaturas, Estación La Calera



**Figura 30:** Ciclo diario de velocidad del viento, Estación La Calera



**Figura 31:** Ciclo diario de humedad relativa, Estación La Calera



**Figura 32:** Ciclo diario de presión atmosférica, Estación La Calera

Se puede observar que los ciclos de temperatura, velocidad del viento se encuentran bien marcados, como también el de humedad relativa y el de presión atmosférica. Estas características indican la presencia de días despejados con magnitudes de viento que superan los 5 m/s lo que indica buenas condiciones de ventilación y por ende niveles bajos de contaminación atmosférica.

En ciclo diario de temperatura presenta un mínimo en las mañanas (8 a.m.) en todos los días de la modelación y presenta máximas que bordean los 25°C al igual que los vientos que presenta sus máximas en las horas de la tarde. La humedad permanece alta en las horas matinales pero al avanzar las horas éstas disminuyen, atribuible al calentamiento diurno.



Bajo estas condiciones, las concentraciones de SO<sub>2</sub> no registran importantes niveles, salvo el día 17 de enero en que se registran 2 peaks (14 y 18 horas) con valores mayores que 175 µg/m<sup>3</sup>.

### 7.3.3 Evaluación de desempeño del modelo

En las tablas 23 y 24 se presentan los resultados de los estadígrafos utilizados para evaluar el desempeño de las alternativas de modelación, mencionadas en la sección 2.3.11. Cabe mencionar que se modelaron dos períodos, invierno y verano para las estaciones de monitoreo La Calera e Hijuelas.

**Tabla 23:** Resumen de parámetros estadísticos, período de verano (enero)

Parámetro	Estación La Calera	ID CORRIDA	
		M1	M2
Media todo el período (µg/m <sup>3</sup> )	33,91	7,23	19,10
Desv. Estándar	40,62	10,41	20,16
IA	*	0,44	0,43
NMD	*	0,79	0,44
RMSE	*	46,33	44,23
RMSE(s)	*	45,32	39,59
RMSE(a)	*	9,64	19,73
SESGO	*	-26,68	-14,81
R	*	0,37	0,19

Parámetro	Estación Hijuelas	ID CORRIDA	
		M1	M2
Media todo el período (µg/m <sup>3</sup> )	8,37	8,51	12,36
Desv. Estándar	16,11	7,26	12,47
IA	*	0,64	1,31
NMD	*	-0,02	-0,48
RMSE	*	13,16	14,51
RMSE(s)	*	11,79	10,10
RMSE(a)	*	5,84	10,42
SESGO	*	0,13	3,99
R	*	0,59	0,54

**Tabla 24:** Resumen de parámetros estadísticos, período de invierno (mayo)

Parámetro	Estación La Calera	ID CORRIDA	
		M1	M2
Media todo el período ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	16,23	19,90	34,38
Desv. Estándar	20,20	23,50	33,82
IA	*	0,55	0,25
NMD	*	0,23	1,12
RMSE	*	25,45	42,87
RMSE(s)	*	12,75	26,50
RMSE(a)	*	22,03	33,69
SESGO	*	3,67	18,15
R	*	0,34	0,02

Parámetro	Estación Hijuelas	ID CORRIDA	
		M1	M2
Media todo el período ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	19,04	13,42	52,71
Desv. Estándar	23,16	21,56	52,92
IA	*	0,61	0,19
NMD	*	0,29	-1,77
RMSE	*	24,60	66,77
RMSE(s)	*	14,01	40,95
RMSE(a)	*	20,26	52,74
SESGO	*	-5,61	33,68
R	*	0,42	3,92E-03

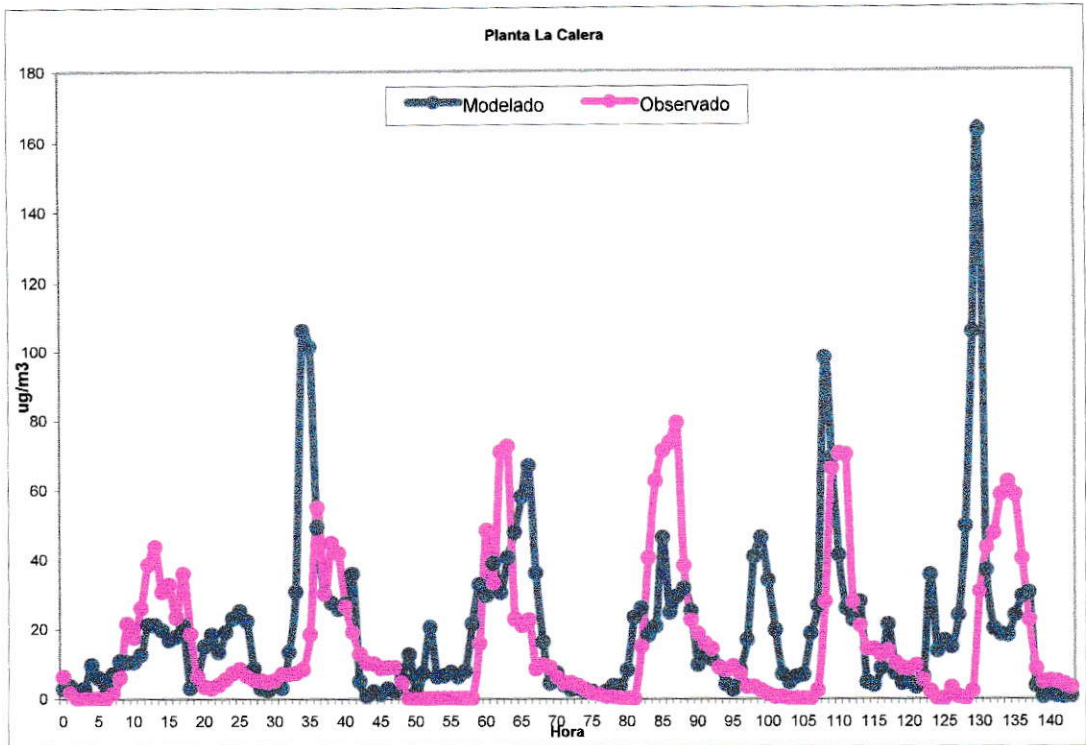
En términos generales, algunas de las alternativas de modelación presentan parámetros estadísticos de buen desempeño, no obstante, las mejores corridas para el mes de enero corresponden a M2 para ambas estaciones, para el mes de mayo corresponden a M1. En el caso del mes de enero, los parámetros estadísticos presenta un menor error cuadrático medio, no obstante, los índices de concordancia no son muy buenos, si presentan una diferencia media normalizada menor. Para el caso del mes mayo, éstos presentan los mejores índices de concordancia, además de presentar menor valor de error cuadrático medio, donde mientras menor este error, mejor es el

desempeño. También presenta una menor diferencia media normalizada 23% y 29% para estación La Calera e Hijuelas respectivamente, donde un valor cercano a cero indica un comportamiento bueno. Por otro lado, el valor medio predicho en M1 es el más parecido al valor observado por lo que el valor medio residual es el más pequeño. Lo mismo ocurre con las desviaciones estándar observadas y predichas que tampoco difieren mucho.

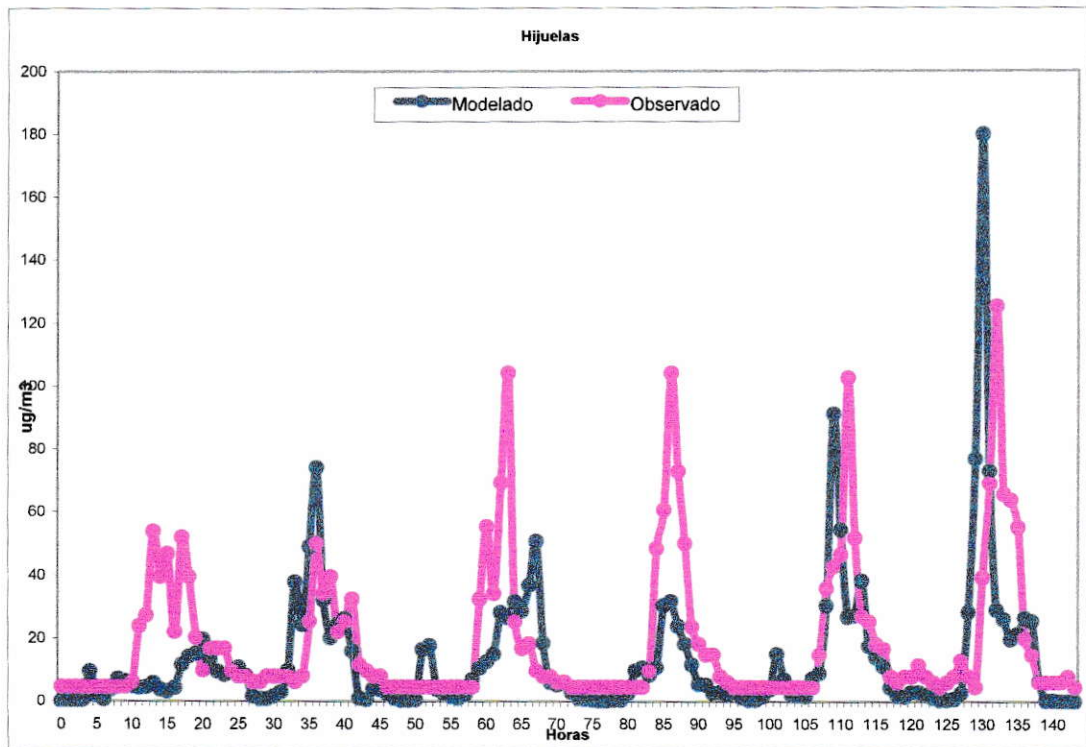
Si bien es cierto que no se puede hablar de una validación estricta del modelo, al no contar con más estaciones de monitoreo con datos disponibles de SO<sub>2</sub> comparativos situados en distintos lugares dentro de la ciudad, la buena evaluación estadística, sobre en el mes de mayo, reportada por el modelo permite suponer que la ejecución del modelo entregará buenos resultados.

#### **7.3.4 Distribución temporal de las concentraciones**

En la figura 33 y 34 se presentan las series de tiempo de los promedios horarios observados de las estaciones de monitoreo y las predichas del modelo para el período bajo estudio (17 al 22 de mayo), en el Anexo H se presentan los gráficos correspondientes a enero.



**Figura 33:** Concentraciones predichas y observadas (17 – 22 mayo), La Calera



**Figura 34:** Concentraciones predichas y observadas (17 – 22 mayo), Hijuelas

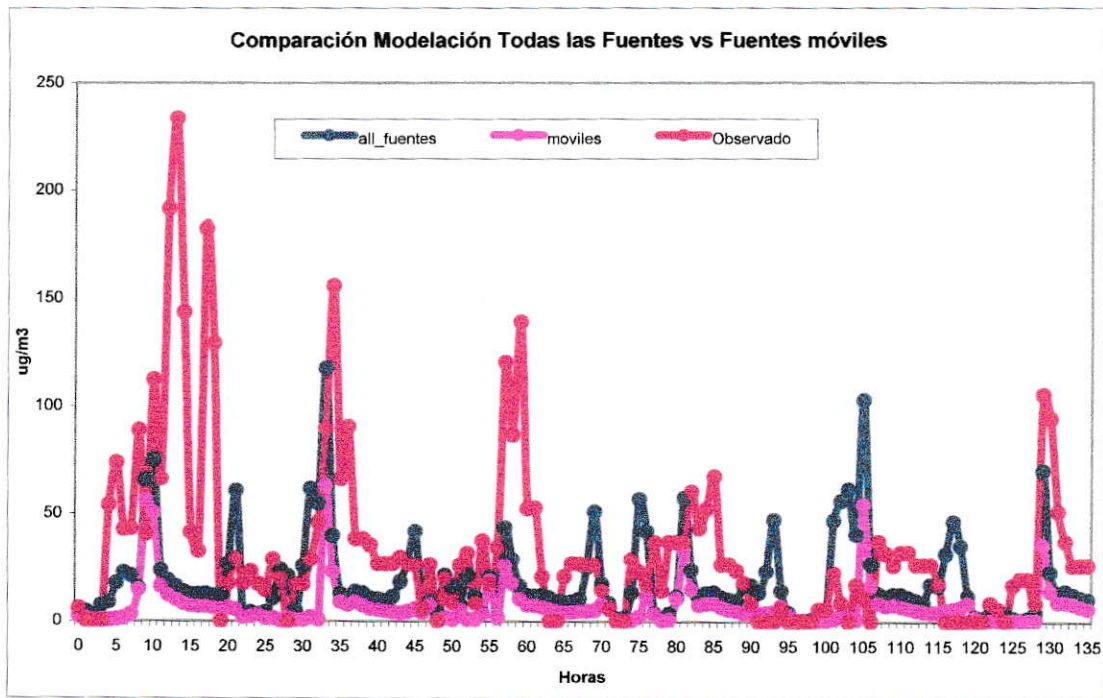


De los gráficos anteriores es posible decir que el modelo identifica claramente en la mayoría de los casos para las dos estaciones de monitoreo, los días con bajos niveles de contaminación y los días con altos niveles de contaminación, con lo cual presenta un buen desempeño.

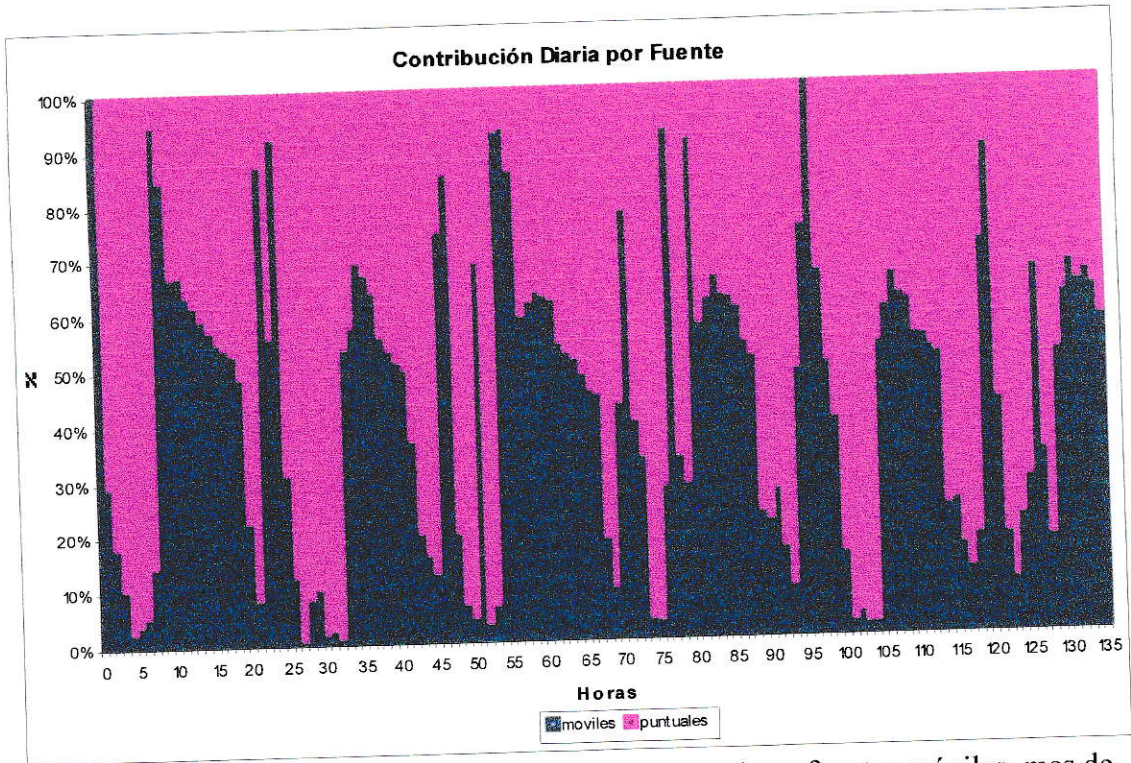
### 7.3.5 Participación de las fuentes

En cuanto al nivel de responsabilidades de las fuentes puntuales y fuentes móviles, éstas se grafican en las siguientes figuras para los meses de enero y mayo respectivamente.

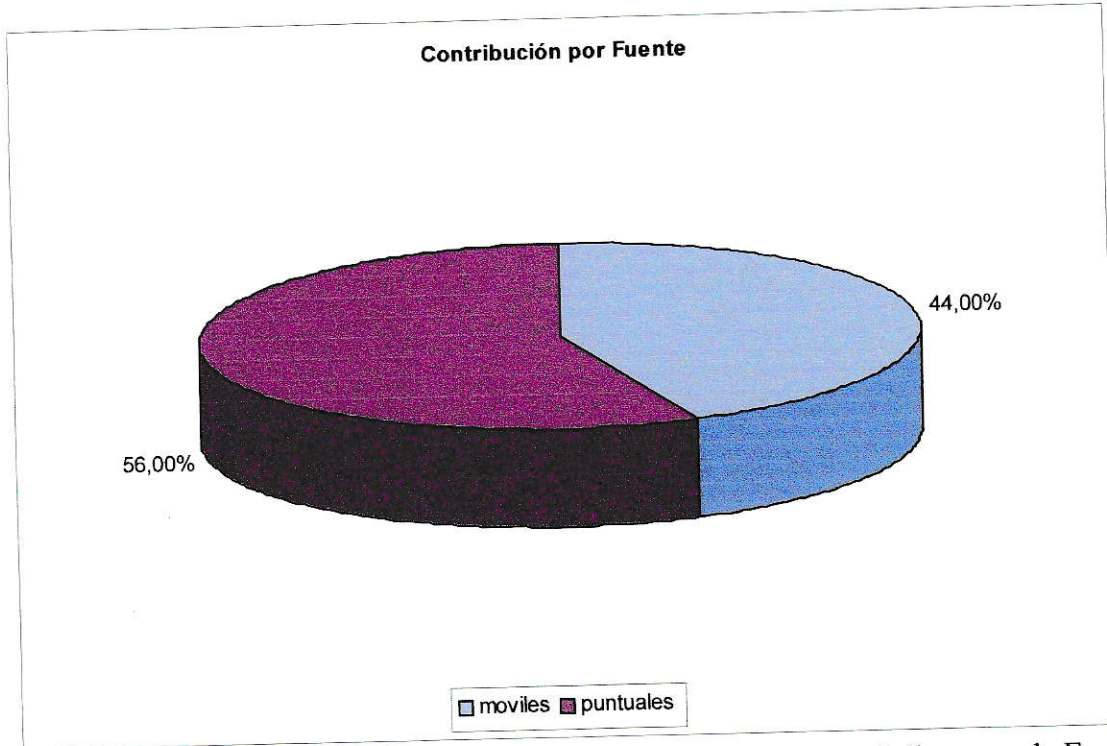
Las figuras que se presentan a continuación corresponden a La Calera.



**Figura 35:** Comparación de la modelación de todas las fuentes vs las fuentes móviles, mes de Enero.



**Figura 36:** Contribución diaria de las fuentes puntuales y fuentes móviles, mes de Enero.



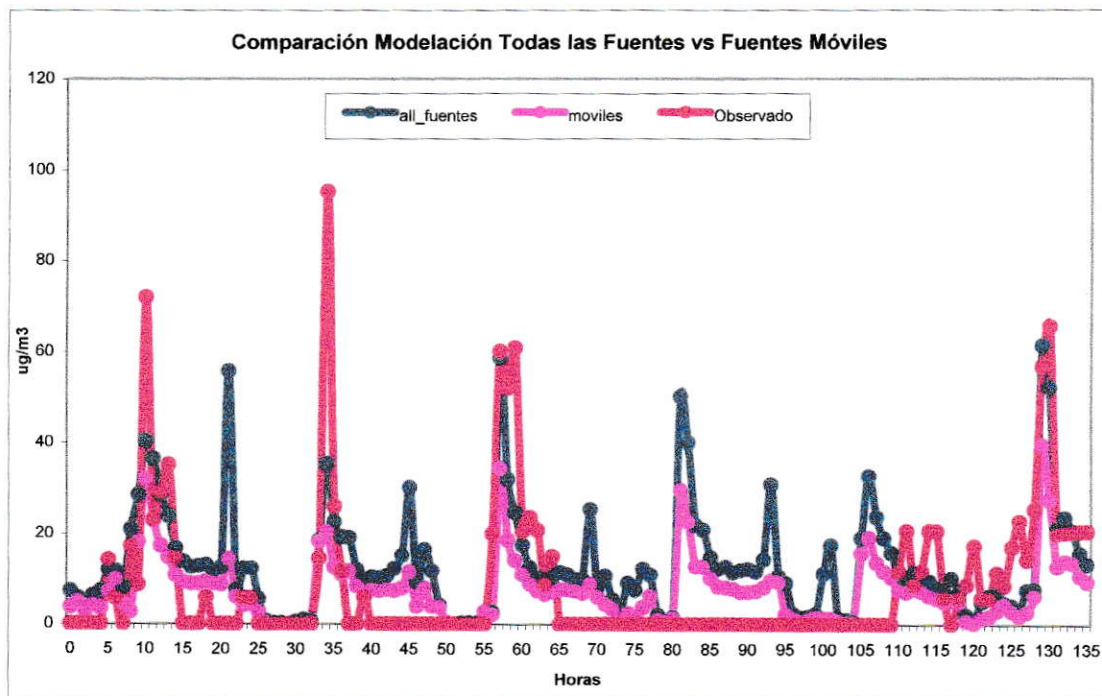
**Figura 37:** Contribución total de las fuentes puntuales y fuentes móviles, mes de Enero.



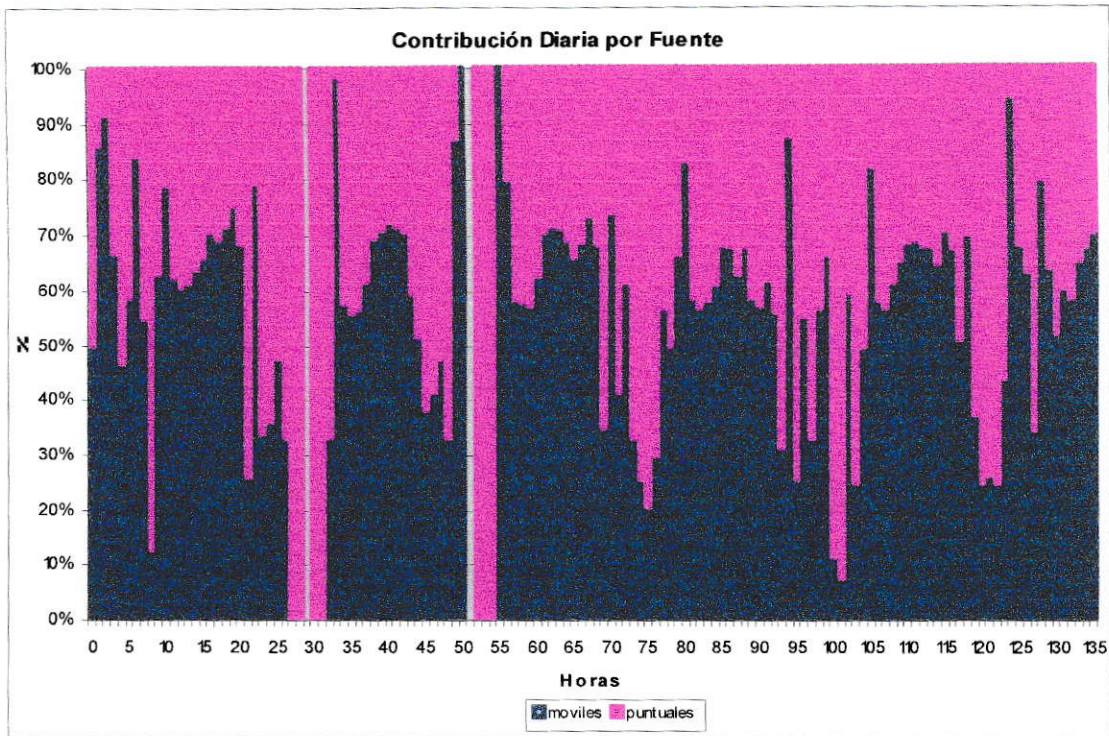
Las series de tiempo para las fuentes puntuales y las fuentes móviles presentan similar perfil horario, ambas presentan un máximo en la mañana (9 a.m.), con una disminución a medida que pasa el día con un leve aumento en las horas de la tarde para las fuentes móviles no así para las fuentes puntuales que presentan un máximo en la tarde (21 hrs).

De los gráficos se puede desprender las responsabilidades de las fuentes, en este caso para la ciudad de La Calera la mayor contribución esta dado por las fuentes puntuales que aportan un 56% de la contaminación en la comuna de La Calera, esto debido a la presencia de una fuente puntual en la comuna. En el Anexo H se presentan las contribuciones de las fuentes para el mes de mayo para ambas comunas.

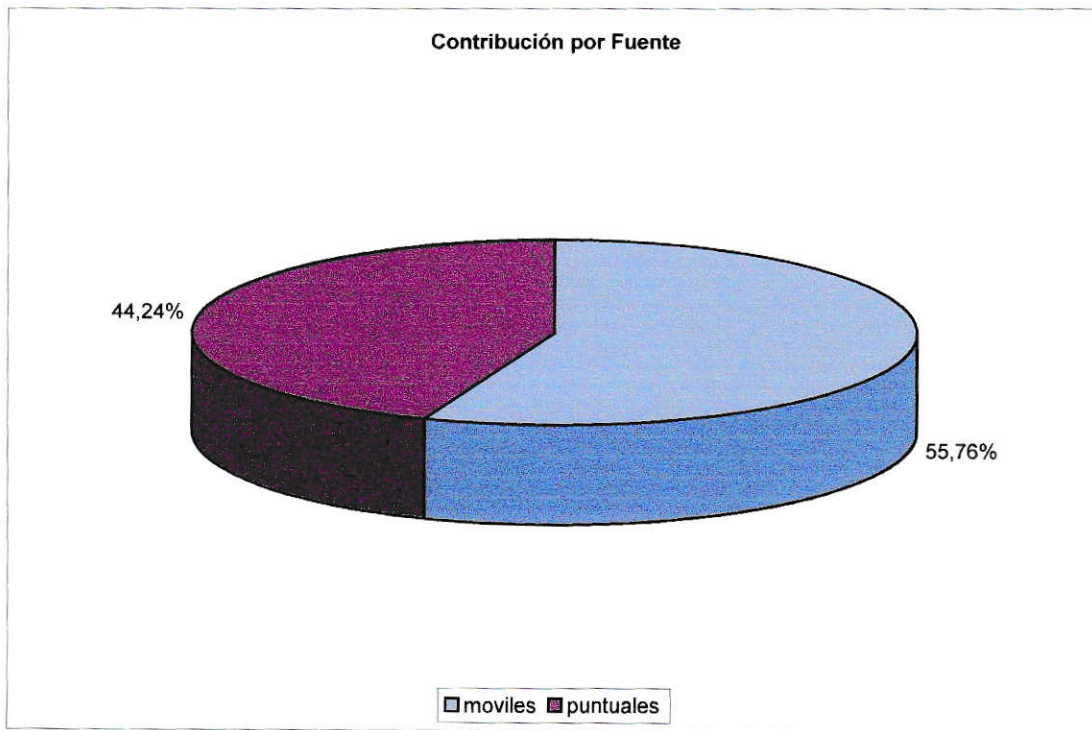
Las siguientes figuras que se presentan corresponden a la ciudad de Hijuelas



**Figura 38:** Comparación de la modelación de todas las fuentes vs las fuentes móviles, mes de Enero.



**Figura 39:** Contribución diaria de las fuentes puntuales y fuentes móviles, mes de Enero.



**Figura 40:** Contribución total de las fuentes puntuales y fuentes móviles, mes de Enero.

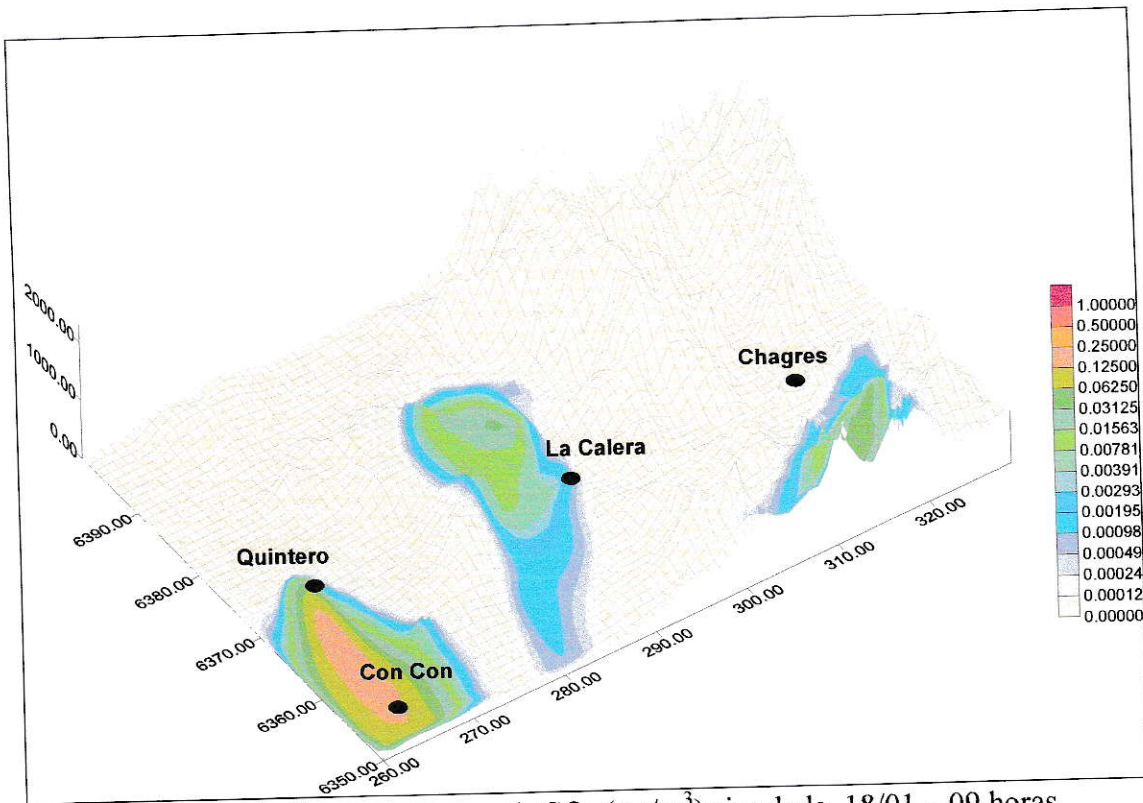


Las series de tiempo para las fuentes puntuales y las fuentes móviles presentan un perfil horario muy similar presentando máximos en la mañana y en la tarde (9 y 21 horas respectivamente).

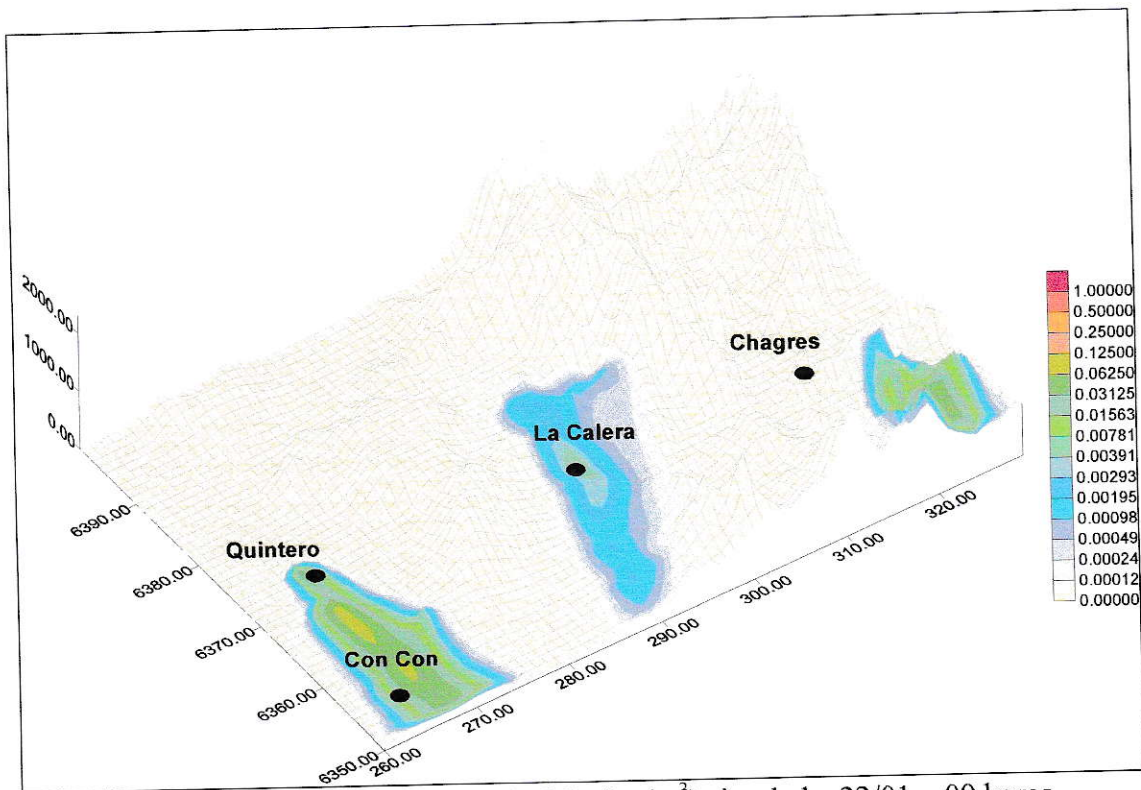
En el caso de la ciudad de Hijuelas, los gráficos nos presentan que las responsabilidades de las fuentes presenta una mayor contribución de parte de las fuentes móviles que aportan con 55,76% de la contaminación en la comuna, esto es posible debido a que en la comuna no hay presencia de fuentes puntuales y por ser época estival con lo cual aumenta el flujo vehicular en la zona, no obstante, la comuna se presenta al lado de la comuna de La Calera con lo cual esta contribución varía dependiendo del mes que se modelo, en este caso, para el mes de mayo el aporte de las fuentes móviles fue de un 49,87%. Esta disminución del aporte de las fuentes móviles puede deberse a varios factores, entre los que destacan los factores meteorológicos y el flujo vehicular que hay en la zona.

### **7.3.6 Distribución espacial de las concentraciones**

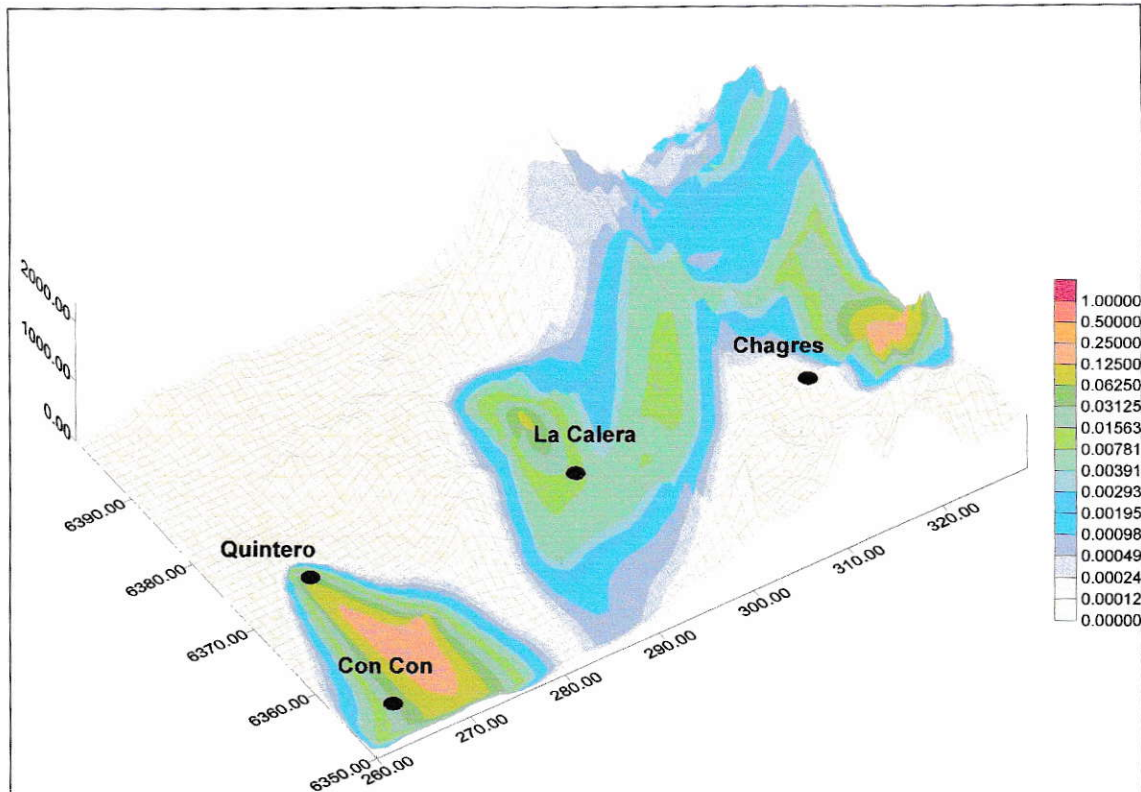
A continuación, se muestran las salidas gráficas del modelo de dispersión, correspondientes al día 18 de enero para la hora de mayor concentración (9 a.m.), 22 de enero (9 a.m.) y 22 de mayo (10 a.m.), respectivamente, además, se señalan las ciudades que se encuentran involucradas.



**Figura 41:** Concentraciones de SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) simulada, 18/01 – 09 horas



**Figura 42:** Concentraciones de SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) simulada, 22/01 – 09 horas



**Figura 43:** Concentraciones de  $\text{SO}_2$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) simulada, 22/05 – 10 horas

Se puede observar en las figuras anteriores que las concentraciones más altas no se extienden fuera de los límites urbanos. Se puede observar que tanto la simulación realizada para el día 22 de enero y 22 de mayo, las máximas de concentración se centran en la ciudad de La Calera y sus alrededores (Nogales e Hijuelas) y se producen en las horas de mayor actividad de las ciudades, 9 y 10 de la mañana respectivamente.

Estas máximas de concentración donde el modelo predice una isolínea de concentración máxima de  $0,125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  del día 22/01 a las 09 a.m. este lugar de máximo impacto de contaminación horaria se produce en la zona sur de la ciudad de Nogales, en la ciudad de La Calera y a la zona este de la ciudad de Hijuelas. Otra zona de impacto alto corresponde al día 22/05 a las 10 a.m. donde el modelo predice una isolínea de

concentración máxima de 0,25 y 0,125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  que corresponden a la zona de Quintero y Con Con y a la zona de La Calera, Nogales e Hijuelas, respectivamente.

La acumulación de contaminantes en dichas zonas mencionadas anteriormente se debe a una conjunción de los factores meteorológicos que dificultan la dispersión de los contaminantes, esto sumado a las altas emisiones correspondientes a las fuentes puntuales y en menor medida a las fuentes móviles. Además de los factores meteorológicos que afectan a la zona, las irregularidades en la topografía inciden en la poca dispersión de los contaminantes, tal como se muestran en las figuras anteriores.

Por otro lado, las zonas rurales del dominio simulado presentan concentraciones bajas con respecto a las zonas urbanas lo cual es evidente debido a la densidad poblacional que hay en las zonas urbanas.

Como resultado de esto, se puede deducir que el problema de la contaminación por  $\text{SO}_2$  se encuentra extendido por toda la comuna de La Calera, Hijuelas y Nogales, siendo las zonas más críticas la ciudad de La Calera y Nogales.

Según los resultados, estos indican que la población que se encuentra mayormente expuesta es la gente que vive en la ciudad de La Calera, aunque los niveles de contaminación no son muy altos puesto que la norma de  $\text{SO}_2$  es de 365  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (a partir del 2003 la norma disminuye a 250  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y los valores que se observaron están por debajo de este valor, esto indica que el riesgo en la salud no es muy alta pero existe la posibilidad de que personas con problemas respiratorios (asmáticos, problemas cardiovasculares entre otros) puedan presentar algún síntoma.



## 8. CONCLUSIONES

Aplicando la metodología desarrollada en este estudio, se ha verificado que la hipótesis planteada se ha cumplido. Esto, porque es posible aplicar un modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos a las ciudades de La Calera, Hijuelas y Nogales para simular los efectos de la mezcla y transporte atmosféricos, sobre las concentraciones de SO<sub>2</sub> provenientes de las principales fuentes emisoras y estimar las contribuciones de las fuentes e identificar las zonas de impacto para la población.

En cuanto al objetivo general, este se cumplió en su totalidad puesto que era simular períodos de alta contaminación por dióxido de azufre en las ciudades de La Calera, Hijuelas y Nogales utilizando un modelo de dispersión e identificar las zonas de mayor impacto en la salud de la población de dichas comunas.

Las quemas agrícolas como los incendios forestales se presentan con una mayor presencia cercana a los centros poblados. Las emisiones que se generan a partir de estas fuentes en la zona de estudio son poco significativas en cuanto a consumo de biomasa, no obstante, por el hecho de estar cercanas a grandes centros poblados, Valparaíso y Viña del Mar, es posible una contribución de otros contaminantes que se transportan y se dispersan por medio de las corrientes de aire. Según la metodología de la EPA, la contribución de las quemas agrícolas y los incendios forestales por dióxido de azufre es poco significativa, puesto que en la quema de biomasa no presenta dióxido de azufre.

En cuanto a las fuentes móviles, se puede mencionar que la ciudad de La Calera y de Nogales presenta altas emisiones de CO, mayores de 1300 ton/año, en cuanto a las emisiones de SO<sub>2</sub>, éstas presentan emisiones mayores de 450 ton/año.

Realizando una desagregación por categorías vehiculares para las tres comunas se puede mencionar que para la comuna de Nogales y la comuna de Hijuelas la mayor emisión de SO<sub>2</sub> es producida por camiones y vehículos comerciales. En el caso de la comuna de La Calera la emisión de SO<sub>2</sub> es producida principalmente por vehículos comerciales seguida de buses y camiones. Esta diferencia se debe a que la ciudad de La Calera es un polo comercial, con lo cual el uso de los vehículos comerciales es de gran demanda.

Haciendo un nuevo desglose por categorías vehiculares se puede mencionar que en las comunas de Nogales e Hijuelas la emisión de SO<sub>2</sub> es producida principalmente por camiones pesados, aproximadamente un 45% y en una proporción menor se encuentran los buses interurbanos y camiones livianos para la comuna de Nogales con alrededor de un 11%, en la comuna de Hijuelas se agregan a los buses interurbanos y camiones livianos los vehículos comerciales diesel que representan un 15% aproximadamente. En la comuna de La Calera se tiene que la emisión de SO<sub>2</sub> es principalmente producida por vehículos comerciales diesel que representan cerca del 30% y en menor medida a los camiones pesados con un 15% aproximadamente.

Realizando una comparación con otras urbes del país como validación de los resultados obtenidos se desprende que los valores estimados concuerdan con la tendencia esperada de que a mayor población habrá una mayor emisión de contaminantes.

En relación a la aplicación del modelo de dispersión CALMET – CAMx, este logró reproducir de buena forma la dinámica espacial y temporal de las concentraciones de dióxido de azufre, salvo algunos días en los cuales subestimaba o superestimaba. Por

otro lado, los parámetros estadísticos utilizado para evaluar el desempeño del modelo determinaron buenos ajustes con los valores observados de monitoreo, lo cual otorga un cierto grado de confianza a los resultados entregados por el modelo.

El análisis de la distribución espacial de las concentraciones permitió determinar que el problema de contaminación atmosférica por SO<sub>2</sub> se encuentra extendido sobre todas las ciudades del estudio, con zonas especialmente críticas en el sector (ciudades de Nogales y La Calera) y en una menor medida la zona sur (Hijuelas).

En cuanto a la contribución por fuentes emisoras, se puede apreciar que no hay una contribución de las fundiciones por SO<sub>2</sub>, sino mas bien, la contribución directa que tienen las ciudades de La Calera e Hijuelas es de las fuentes móviles y de la planta cementera. En el caso de la ciudad de La Calera la contribución por la fuente puntual corresponde a un 56% mientras que el resto, 44%, corresponde a las fuentes móviles, para la ciudad de Hijuelas la contribución de la fuente puntual corresponde a un 44% y un 56% para las fuentes móviles aproximadamente.

Por otro lado, las concentraciones horarias indican que la población estaría expuesta a concentraciones horarias altas de dióxido de azufre en períodos de tiempo cortos, estos serían más altos en la ciudad de La Calera que en la ciudad de Hijuelas.

Si bien el modelo de dispersión CALMET – CAMx presentó un buen desempeño, la recomendación de este estudio preliminar es que se desarrollen modelos calibrados para las condiciones especificadas para la zona para disminuir la incertidumbre que existe en el proceso que relaciona las emisiones con la concentración de los contaminantes.

Otro punto importante es con respecto a la meteorología local de la zona, mediante la instalación de estaciones meteorológicas tanto dentro como fuera de los límites urbanos, para mejorar la meteorología en altura que se requiere para los modelos de dispersión.



## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. Documento EPA, AP-42 Chapter 13, Miscellaneous Sources, Wild Fires and Prescribed Burning
2. Documento EPA, Development of Emissions Inventory Methods for Wildland Fire, February 2002, Chapter 5-. Fire Emission Factors and Relationships, Section 5.3 Combustion Efficiency pag: 29 – 30.
3. Manual SATURN, pag web:  
<<http://www.its.leeds.ac.uk/software/saturn/index.html>>
4. Manual para la cuantificación de Externalidades de Proyectos Portuarios, <[http://www.sectra.cl/transporte/transporte\\_interurbano/puertos/Archivos\\_pdf/Externalidades/](http://www.sectra.cl/transporte/transporte_interurbano/puertos/Archivos_pdf/Externalidades/)>
5. Héctor Jorquera 2002, Apuntes de Contaminación Atmosférica, capítulo 5: Dispersión de Contaminantes en la Atmósfera pág.: 97 - 125, Ing. Química y Bioprocesos, Universidad Católica.
6. Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos, Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Obras (DGO), Secretaria Ejecutiva de Medio Ambiente y Territorio (SEMAT).
7. Estudio: “Inventarios de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos en las regiones V, VI y IX de Chile”. Capítulo 2 Metodologías, 2.1 Fuentes Móviles, Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA).
8. Estudio: “Inventarios de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos en las regiones V, VI y IX de Chile”. Capítulo 3 Quinta Región, 3.1 Fuentes Móviles, Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA).
9. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México, Vol. II, III, IV, V y VI, 1997, <[http://www.epa.gov/ttn/catc/cica/other3\\_s.html](http://www.epa.gov/ttn/catc/cica/other3_s.html)>
10. Earth Tech, página Web donde se encuentra disponible el sistema de modelación CALMET/CALPUFF, <<http://www.src.com/calpuff/calpuff1.htm>>
11. Manuales de uso y modelos computacionales de dispersión de contaminantes atmosféricos, <<http://www.epa.gov/scram001>>

12. Estudio de Prefactibilidad, “construcción mejoramiento Troncal La Calera – Hijuelas – Nogales”, Informe pre-final, Vol.1 capítulos I - IV, ICR Consultores Ltda., 1999.
13. Inventario de Emisiones, metodología usada para estimar emisiones de fuentes móviles, 1997, <[http://www.conama.cl/gestion\\_ambiental/planes\\_decontaminacion/plan\\_d\\_santiago/inventario\\_emisiones/3.htm](http://www.conama.cl/gestion_ambiental/planes_decontaminacion/plan_d_santiago/inventario_emisiones/3.htm)>
14. Estudio “Elaboración del Inventario de Emisiones Atmosféricas en la Zona Denominada Gran Concepción”, enero 2002, capítulo 2, CENMA para CONAMA.
15. McMahon, Charles K., 1983. Characteristics of Forest Fuels, Fires and Emissions. USDA Forest Service Dry Branch, Georgia, Atlanta. Report 83-45.1
16. Corvalán, Roberto, 1998. Contaminación Atmosférica en la Ciudad de Santiago, Ciencia al Día, Vol. 1, N°1. Pág. 1 – 13, <<http://www.ciencia.cl/CienciaAIDia/volumen1/numero1/articulos/articulo5.html>>
17. Osses, M, Dursbeck, F., Corvalán, R., 2000. Modelo de Emisión de Contaminantes Atmosféricos producidos por Transporte Urbano: El Caso de Santiago de Chile. Departamento Ingeniería Mecánica, Universidad de Chile.
18. COPERT III. Computer program to calculate emissions from road transport. Methodology and emission factors and users manual. *European Environment Agency & European Topic Center on Air Emission*. July 2000.
19. Documento USEPA, Handbook for Criteria Pollutant Inventory Development: A Beginner’s Guide for Point and Area Sources. 1999. EPA – 454/R – 99 – 037. Office of Air Quality Planning and Standards (OAQPS). <<http://www.epa.gov/ttn/chief>>
20. Parque de Vehículos en Circulación, 2001. Departamento Estadísticas de Comercio y Servicios, Instituto Nacional de Estadística, INE. <<http://www.ine.cl>>

21. Ministry for the Environment, New Zealand, Good practice Guide for Atmospheric Dispersion Modelling, Air Quality Technical Report N°27, 2002. National Institute of Water and Atmospheric Research, Aurora Pacific and Earth Tech Incorporated.  
<<http://www.mfe.govt.nz>>
22. Estudio “Actualización del Inventario de Emisiones de Fuentes Móviles de la Región Metropolitana”, 2000. Capítulo 2. CENMA.
23. Graedel, T. E., Crutzen, P. J., Atmospheric Change An Earth System Perspective, 1993. Chapter 15 Building Environmental Chemical Models, pág: 309 – 338.
24. Pfeng, Claudia, “Estimación de Emisiones de Fuentes Móviles en Ruta en Ciudades sin Red Vial Modelada con Simulación del Poblamiento de Flujo Vehicular”, Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil en Geografía, 2002. Universidad de Santiago de Chile.
25. Estudio “Estimación de Emisiones Evaporativas, Biogénicas y Quemas Agrícolas para la RM”, subprograma Emisiones de Quemas Agrícolas e Incendios Forestales, Informe Final. CENMA.
26. Flores, Lissette, “Aplicación de un Modelo de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos para estimar el impacto sobre la Calidad del Aire de las Emisiones de Material Particulado en la ciudad de Temuco”, Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil en Geografía, 2002. Universidad de Santiago de Chile.
27. Gacitúa, Cristóbal, “Modelación de la Fotoquímica en la Región Metropolitana: Julio 1999”, Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil Industrial con Diploma en Ingeniería Ambiental, 2002. Pontificia Universidad Católica de Chile.
28. Castro, Julio, “Interpolación de Campos de Vientos y Meteorología Tridimensional sobre Santiago”, Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil Industrial con Diploma en Ingeniería Ambiental, 2001. Pontificia Universidad Católica de Chile.

**ANEXO A**



Tabla A.1. Factores de emisión en caliente vehículos livianos de pasajeros (VLP)

CATEGORÍA	ELEMENTO	FACTOR DE EMISION (gr/km)	PROCEDENCIA
Vehículos Livianos de Pasajeros, particulares y de Alquiler a gasolina Con Convertidor Catalítico	CO	$28.884 V^{-0.8384}$	Programas experimentales nacionales (CENMA)
	VOC	$1.1851 V^{-0.616}$	Programas experimentales nacionales (CENMA)
	NOx	$3 \times 10^{-6} V^3 - 0.0003 V^2 + 0.0068 V + 0.4941$	Programas experimentales nacionales (CENMA)
	CH <sub>4</sub>	$1.1176 \times 10^{-5} V^2 - 0.00196V + 0.099652$	COPERT III (EURO I)
	N <sub>2</sub> O	0.05	COPERT II (Closed Loop)
	NH <sub>3</sub>	0.07	COPERT II (Closed Loop)
Vehículos Livianos de Pasajeros, particulares y de Alquiler a gasolina Sin Convertidor Catalítico	CO	$0.0203 V^2 - 2.2662V + 77.661$	Programas experimentales nacionales (CENMA)
	VOC	$11.589 V^{-0.5595}$	Programas experimentales nacionales (CENMA)
	NOx	$1 \times 10^{-5} V^3 - 0.0021 V^2 + 0.0911 V + 1.167$	Programas experimentales nacionales (CENMA)
	CH <sub>4</sub>	$3.31 \times 10^{-5} V^2 - 0.00573V + 0.268$	COPERT III (Conventional)
	N <sub>2</sub> O	0.005	COPERT II (Conventional)
	NH <sub>3</sub>	0.002	COPERT II (Conventional)

Tabla A.2. Factores de emisión en caliente vehículos livianos comerciales (VLC)

CATEGORIA	ELEMENTO	FACTOR DE EMISION (gr/km)	PROCEDENCIA
Livianos comerciales a gasolina con convertidor catalítico < 3.5 ton	CO	$0.00060 V^2 - 0.0475 V + 2.2195$	COPERT II (93/59/EEC)
	VOC	$0.00007V^2 - 0.0067V + 0.2406$	COPERT II (93/59/EEC)
	NOx	$0.0000575V^2 - 0.00548V + 0.4880$	COPERT II (93/59/EEC)
	CH <sub>4</sub>	$1.2969 \times 10^{-5}V^2 - 0.0021098V + 0.101995$	COPERT III
	N <sub>2</sub> O	0.006	COPERT II
	NH <sub>3</sub>	0.07	COPERT II
Livianos comerciales a gasolina sin convertidor catalítico < 3.5 ton	CO	$0.01104 V^2 - 1.5132 V + 57.789$	COPERT II
	VOC	$0.000677V^2 - 0.1170V + 5.4734$	COPERT II
	NOx	$0.00009V^2 - 0.0079V + 1.9391$	COPERT II
	CH <sub>4</sub>	0.15	COPERT III
	N <sub>2</sub> O	0.006	COPERT II
	NH <sub>3</sub>	0.002	COPERT II
Livianos comerciales Diesel < 3.5 ton	MP	$0.0000125 V^2 - 0.000577 V + 0.2880$	COPERT II
	CO	$0.00020 V^2 - 0.0256 V + 1.8281$	COPERT II
	VOC	$0.000066 V^2 - 0.0113 V + 0.6024$	COPERT II
	NOx	$0.00014 V^2 - 0.01592 V + 1.4921$	COPERT II
	CH <sub>4</sub>	0.005	COPERT II
	N <sub>2</sub> O	0.017	COPERT II
	NH <sub>3</sub>	0.001	COPERT II

Tabla A.3. Factores de emisión en caliente Buses, transporte público y privado

CATEGORIA	ELEMENTO	FACTOR DE EMISION (gr/km)	PROCEDENCIA
Buses transporte Público Tipo 1	CO	$59.003 * V^{(-0.7447)}$	COPERT II (Convencionales)
	VOC	$43.647 * V^{(-1.0301)}$	COPERT II (Convencionales)
	NOx	$89.174 * V^{(-0.5185)}$	COPERT II (Convencionales)
	CH <sub>4</sub>	0.175	COPERT III
	N <sub>2</sub> O	0.03	COPERT II
	NH <sub>3</sub>	0.003	COPERT II
	MP	$12.09253 * V^{(-0.7360)}$	COPERT II Modificado
Buses transporte Público Tipo 2 (con norma de emisión EPA91 o EURO I)	CO	$29.5015 * V^{(-0.7447)}$	COPERT II Urbanos reducidos según Stage I, (91/542/EEC)
	VOC	$32.73525 * V^{(-1.0301)}$	COPERT II Urbanos reducidos según Stage I (91/542/EEC)
	NOx	$62.4218 * V^{(-0.5185)}$	COPERT II Urbanos reducidos según Stage I (91/542/EEC)
	CH <sub>4</sub>	0.175	COPERT III
	N <sub>2</sub> O	0.03	COPERT II
	NH <sub>3</sub>	0.003	COPERT II
	MP	$5.109585 * V^{(-0.7360)}$	COPERT II Urbanos reducidos según Stage I (91/542/EEC)
Buses transporte Público Tipo 3 (con norma de emisión EPA94 o EURO II)	CO	$23.6012 * V^{(-0.7447)}$	COPERT II Urbanos reducidos según Stage I (91/542/EEC)
	VOC	$30.5529 * V^{(-1.0301)}$	COPERT II Urbanos reducidos según Stage I (91/542/EEC)
	NOx	$44.587 * V^{(-0.5185)}$	COPERT II Urbanos reducidos según Stage I (91/542/EEC)
	CH <sub>4</sub>	0.175	COPERT III
	N <sub>2</sub> O	0.03	COPERT II
	NH <sub>3</sub>	0.003	COPERT II
	MP	$3.14436 * V^{(-0.7360)}$	COPERT II Urbanos reducidos según Stage I (91/542/EEC)
Otros Buses Tipo 1 (buses convencionales sin norma de emisión)	CO	$63.791 * V^{(-0.8393)}$	COPERT II Coaches Convencionales
	VOC	$44.217 * V^{(-0.8870)}$	COPERT II Coaches Convencionales
	NOx	$125.87 * V^{(-0.6562)}$ $0.001 * V^2 - 0.1608 * V + 14.308$	COPERT II Coaches Convencionales (0 a 60 km/h) ( >60 km/h)
	CH <sub>4</sub>	0.175	COPERT III
	N <sub>2</sub> O	0.03	COPERT II
	NH <sub>3</sub>	0.003	COPERT II
	MP	$9.2934 * V^{(-0.7373)}$	COPERT II
Otros Buses Tipo 2 (buses Euro I o superior)	CO	$35.08505 * V^{(-0.8393)}$	COPERT II Coaches Euro I
	VOC	$22.1085 * V^{(-0.8870)}$	COPERT II Coaches Euro I
	NOx	$69.2285 * V^{(-0.6562)}$ $0.00055 * V^2 - 0.08844 * V + 7.8694$	COPERT II Coache Euro I (0 a 60 km/h) ( >60 km/h)
	CH <sub>4</sub>	0.175	COPERT III
	N <sub>2</sub> O	0.03	COPERT II
	NH <sub>3</sub>	0.003	COPERT II
	MP	$6.04071 * V^{(-0.7373)}$	COPERT II Coache Euro I



Tabla A.4. Factores de emisión en caliente transporte de carga, camiones

CATEGORIA	ELEMENTO	FACTOR DE EMISION (gr/km)	PROCEDENCIA
Camiones Livianos y Medianos Tipo 1 convencionales (sin norma de emisión)	CO	$37.280 V^{-0.6945}$	COPERT II Conventional heavy duty
	VOC	$40.120 V^{-0.8774}$	COPERT II Conventional heavy duty
	NOx	$71.7142 V^{-0.7495}$ (0 a 60 km/h) $0.001 V^2 - 0.1333 V + 7.6664$	Ponderados livianos y medianos, COPERT II Conventional heavy duty
	CH <sub>4</sub>	0.085	COPERT III heavy duty diesel 7,5 t <W< 16t Urban
	N <sub>2</sub> O	0.03	COPERT II heavy duty diesel 7,5 t <W< 16t Urban
	NH <sub>3</sub>	0.003	COPERT II heavy duty diesel 7,5 t <W< 16t Urban
	MP	$7.118 V^{-0.7197}$	Ponderados livianos y medianos, COPERT II Conventional heavy duty
Camiones Livianos y Medianos Tipo 2 (Norma EURO I o EPA91)	CO	$18.64 V^{-0.6945}$	COPERT II Euro I heavy duty
	VOC	$30.09 V^{-0.8774}$	COPERT II Euro I heavy duty
	NOx	$50.199 V^{-0.74395}$ (0 a 60 km/h) $0.0007 V^2 - 0.09331 V + 5.36648$	COPERT II Euro I heavy duty
	CH <sub>4</sub>	0.085	COPERT III heavy duty diesel 7,5 t <W< 16t Urban
	N <sub>2</sub> O	0.03	COPERT II heavy duty diesel 7,5 t <W< 16t Urban
	NH <sub>3</sub>	0.003	COPERT II heavy duty diesel 7,5 t <W< 16t Urban
	MP	$4.6267 V^{-0.7197}$	COPERT II Euro I heavy duty
Camiones Pesados Tipo 1 convencionales (sin norma de emisión)	CO	$37.280 V^{-0.6945}$	COPERT III heavy duty diesel >32t Urban
	VOC	$40.12 V^{-0.8774}$	COPERT III heavy duty diesel >32t Urban
	NOx	$132.88 V^{-0.5581}$	COPERT III heavy duty diesel >32t Urban
	CH <sub>4</sub>	0.175	COPERT III heavy duty diesel >32t Urban
	N <sub>2</sub> O	0.03	COPERT II heavy duty diesel >32t Urban
	NH <sub>3</sub>	0.003	COPERT II heavy duty diesel >32t Urban
	MP	$11.028 V^{-0.696}$	COPERT III heavy duty diesel >32t Urban
Camiones Pesados Tipo 2 (Norma EURO I o EPA91)	CO	$20.504 V^{-0.6945}$	COPERT III heavy duty diesel >32t Urban-EURO
	VOC	$20.06 V^{-0.8774}$	COPERT III heavy duty diesel >32t Urban
	NOx	$73.084 V^{-0.5581}$	COPERT III heavy duty diesel >32t Urban
	CH <sub>4</sub>	0.085	COPERT III heavy duty diesel >32t Urban
	N <sub>2</sub> O	0.03	COPERT III heavy duty diesel >32t Urban
	NH <sub>3</sub>	0.003	COPERT III heavy duty diesel >32t Urban
	MP	$7.1682 V^{-0.696}$	COPERT III heavy duty diesel >32t Urban



Tabla A.5. Factores de emisión en caliente Motocicletas

CATEGORIA	ELEMENTO	FACTOR DE EMISION (gr/km)	PROCEDENCIA
Motocicletas 2 tiempos	CO	$-0.0063V^2 + 0.715V - 6.9$	COPERT III 97/24/EC
	VOC	$-0.01V^2 + 0.097V + 3.9$	COPERT III 97/24/EC
	NOx	$0.00002V^2 - 0.001V + 0.032$	COPERT III 97/24/EC
	CH <sub>4</sub>	0.15	COPERT III 97/24/EC
	N <sub>2</sub> O	0.002	COPERT III 97/24/EC
	NH <sub>3</sub>	0.002	COPERT III 97/24/EC
Motocicletas 4 tiempos	CO	$0.0076V^2 - 0.73V + 23.5$	COPERT III 97/24/EC
	VOC	$0.0007V^2 - 0.0755V + 2.63$	COPERT III 97/24/EC
	NOx	$0.00005V^2 - 0.0007V + 0.137$	COPERT III 97/24/EC
	CH <sub>4</sub>	0.2	COPERT III 97/24/EC
	N <sub>2</sub> O	0.002	COPERT III 97/24/EC
	NH <sub>3</sub>	0.002	COPERT III 97/24/EC

## ANEXO B Clasificación de las Fuentes Móviles

**Fuente de Información:** Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (2001) “Actualización modelo de cálculo de emisiones vehiculares”. Proyecto desarrollado para MIDEPLAN

- **Buses Licitados Urbanos Diesel VTT:** Corresponden a buses destinados al transporte público de pasajeros dentro de la ciudad (buses de servicio urbano) cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados es anterior o igual a Septiembre de 1993. Se trata de Vehículos con Tecnología Tradicional (VTT) que no cumplen con ninguna norma de emisión para vehículos nuevos.
- **Buses Licitados Urbanos Diesel Tipo 1** Corresponden a buses destinados al transporte público de pasajeros dentro de la ciudad (buses de servicio urbano) cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados se encuentra entre Septiembre de 1993 y Septiembre de 1996. El D.S. 82/93 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones establece que a partir del primero de septiembre de 1993, todos los vehículos de este tipo que se inscriban deberán cumplir con un estándar de emisión similar o superior al **EPA91** norteamericano o **Euro I** europeo.
- **Buses Licitados Urbanos Diesel Tipo 2** Corresponden a buses destinados al transporte público de pasajeros dentro de la ciudad (buses de servicio urbano) cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados es posterior a Septiembre de 1996. Estos buses deben cumplir con la normativa EPA 94 o Euro II.
- **Buses Licitados Urbanos Diesel Tipo 3** Corresponden a buses destinados al transporte público de pasajeros dentro de la ciudad (buses de servicio urbano) cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados sea posterior a Septiembre del año 2002. Estos buses deben cumplir con la normativa EPA 98 o Euro III.
- **Buses Licitados Urbanos a Gas** Corresponden a buses destinados al transporte público de pasajeros dentro de la ciudad (buses de servicio urbano) que utilizan como combustible Gas Natural Comprimido (GNC) o Gas Licuado de Petróleo (GLP). Estos buses deben cumplir, ingresando al parque a partir de septiembre del 2002, con la normativa EPA 98 o Euro III.
- **Buses Licitados Urbanos Híbridos** Corresponden a buses destinados al transporte público de pasajeros dentro de la ciudad (buses de servicio urbano) del tipo híbrido (diesel eléctrico o gas eléctrico). Estos buses deben cumplir de todas maneras, ingresando al parque a partir de septiembre del 2002, con la normativa EPA 98 o Euro III.
- **Buses Licitados Urbanos Otros** Corresponden a buses destinados al transporte público de pasajeros dentro de la ciudad (buses de servicio urbano) que no caen dentro de las alternativas anteriores. Esta categoría, dependiendo del tipo de modelación requerida, puede ser utilizada en el MODEM, por ejemplo, para evaluar



buses urbanos con tecnología híbrida, buses que utilizan gasolina como combustible o flotas especiales que necesiten ser evaluadas en forma particular. Estos buses deben cumplir de todas maneras, ingresando al parque a partir de septiembre del 2002, con la normativa EPA 98 o Euro III.

- **Buses Particulares** Corresponden a buses destinados al transporte privado de pasajeros dentro de la ciudad (buses de servicio urbano) que no caen dentro de las alternativas anteriores. Se trata de buses institucionales o privados que no tienen recorrido definido ni son licitados por la autoridad.
- **Buses Interurbanos Diesel Convencional.** Corresponden a buses de transporte público de pasajeros del tipo interurbano licitados. En esta categoría se encuentran los buses cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados es anterior o igual a Septiembre de 1993. No cumplen ninguna norma de emisión para vehículos nuevos.
- **Buses Interurbanos Diesel Tipo 1.** Corresponden a buses de transporte público de pasajeros del tipo interurbano licitados. En esta categoría se encuentran los buses cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados se encuentra entre Septiembre de 1993 y Septiembre de 1996. Cumplen con un estándar de emisión similar o superior al EPA91 norteamericano o Euro I europeo.
- **Buses Interurbanos Diesel Tipo 2.** Corresponden a buses de transporte público de pasajeros del tipo interurbano licitados. En esta categoría se encuentran los buses cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados es posterior a Septiembre de 1996. Estos buses deben cumplir con la normativa EPA 94 o Euro II.
- **Buses Interurbanos Diesel Tipo 3.** Corresponden a buses de transporte público de pasajeros del tipo interurbano licitados. En esta categoría se encuentran los buses cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados sea posterior a Septiembre del año 2002. Estos buses deben cumplir con la normativa EPA 98 o Euro III.
- **Buses Interurbanos Otros** Corresponden a buses de transporte público de pasajeros del tipo interurbano que no caen dentro de las alternativas anteriores. Esta categoría, dependiendo del tipo de modelación requerida, puede ser utilizada en el MODEM, por ejemplo, para evaluar buses interurbanos con tecnología híbrida, buses que utilizan gasolina como combustible o flotas especiales que necesiten ser evaluadas en forma particular. Estos buses deben cumplir de todas maneras, ingresando al parque a partir de septiembre del 2002, con la normativa EPA 98 o Euro III.
- **Buses Rurales Diesel Convencional.** Corresponden a buses de transporte público de pasajeros de tipo rural licitados. En esta categoría se encuentran los buses cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados es anterior o igual a Septiembre de 1993. No cumplen ninguna norma de emisión para vehículos nuevos.

- ***Buses Rurales Diesel Tipo 1.*** Corresponden a buses de transporte público de pasajeros de tipo rural licitados. En esta categoría se encuentran los buses cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados se encuentra entre Septiembre de 1993 y Septiembre de 1996. Cumplen con un estándar de emisión similar o superior al EPA91 norteamericano o Euro I europeo.
- ***Buses Rurales Diesel Tipo 2.*** Corresponden a buses de transporte público de pasajeros de tipo rural licitados. En esta categoría se encuentran los buses cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados es posterior a Septiembre de 1996. Estos buses deben cumplir con la normativa EPA 94 o Euro II.
- ***Buses Rurales Diesel Tipo 3.*** Corresponden a buses de transporte público de pasajeros de tipo rural licitados. En esta categoría se encuentran los buses cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados sea posterior a Septiembre del año 2002. Estos buses deben cumplir con la normativa EPA 98 o Euro III.
- ***Buses Rurales Otros*** Corresponden a buses de transporte público de pasajeros de tipo rural que no caen dentro de las alternativas anteriores. Esta categoría, dependiendo del tipo de modelación requerida, puede ser utilizada en el MODEM, por ejemplo, para evaluar buses rurales con tecnología híbrida, buses que utilizan gasolina como combustible o flotas especiales que necesiten ser evaluadas en forma particular. Estos buses deben cumplir de todas maneras, ingresando al parque a partir de septiembre del 2002, con la normativa EPA 98 o Euro III.
- ***Camiones livianos Diesel Convencional.*** Corresponden a camiones livianos con peso bruto inferior a 7.5 toneladas y cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados es anterior a Septiembre de 1994. Estos camiones no cumplen con ninguna norma de emisión para vehículos nuevos aplicable en Chile.
- ***Camiones livianos Diesel Tipo 1.*** Corresponden a camiones livianos con peso bruto inferior a 7.5 toneladas y cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados se encuentra entre Septiembre de 1994 y Septiembre de 1998. Cumplen con un estándar de emisión similar o superior al EPA91 norteamericano o Euro I europeo.
- ***Camiones livianos Diesel Tipo 2.*** Corresponden a camiones livianos con peso bruto inferior a 7.5 toneladas y cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados sea posterior a Septiembre de 1998. Cumplen con un estándar de emisión similar o superior al EPA94 norteamericano o Euro II europeo.
- ***Camiones livianos Diesel Tipo 3.*** Corresponden a camiones livianos con peso bruto inferior a 7.5 toneladas cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados sea posterior a Septiembre del año 2003. Estos buses deben cumplir con la normativa EPA 98 o Euro III. Notar que esta fecha de aplicación



tiene aún cierto grado de incerteza y será aclarada una vez que la autoridad por decreto lo establezca.

- ***Camiones livianos a Gas*** Corresponden a camiones livianos con peso bruto inferior a 7.5 toneladas que utilizan como combustible Gas Natural Comprimido (GNC) o Gas Licuado de Petróleo (GLP). Estos camiones deben cumplir, ingresando al parque a partir de septiembre del 2003, con la normativa EPA 98 o Euro III. Notar que esta fecha de aplicación tiene aún cierto grado de incerteza y será aclarada una vez que la autoridad por decreto lo establezca.
- ***Camiones livianos Otros*** Corresponden a camiones livianos con peso bruto inferior a 7.5 toneladas que no caen dentro de las alternativas anteriores. Esta categoría, dependiendo del tipo de modelación requerida, puede ser utilizada en el MODEM, por ejemplo, para evaluar camiones con tecnología híbrida, camiones que utilizan gasolina como combustible o flotas especiales que necesiten ser evaluadas en forma particular.
- ***Camiones Medianos Diesel Convencional.*** Corresponden a camiones medianos con peso bruto entre 7.5 y 16 toneladas y cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados es anterior a Septiembre de 1994. Estos camiones no cumplen con ninguna norma de emisión para vehículos nuevos aplicable en Chile.
- ***Camiones Medianos Diesel Tipo 1.*** Corresponden a camiones medianos con peso bruto entre 7.5 y 16 toneladas y cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados se encuentra entre Septiembre de 1994 y Septiembre de 1998. Cumplen con un estándar de emisión similar o superior al EPA91 norteamericano o Euro I europeo.
- ***Camiones Medianos Diesel Tipo 2.*** Corresponden a camiones medianos con peso bruto entre 7.5 y 16 toneladas y cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados sea posterior a Septiembre de 1998. Cumplen con un estándar de emisión similar o superior al EPA94 norteamericano o Euro II europeo.
- ***Camiones Medianos Diesel Tipo 3.*** Corresponden a camiones medianos con peso bruto entre 7.5 y 16 toneladas cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados sea posterior a Septiembre del año 2003. Estos buses deben cumplir con la normativa EPA 98 o Euro III. Notar que esta fecha de aplicación tiene aún cierto grado de incerteza y será aclarada una vez que la autoridad por decreto lo establezca.
- ***Camiones Medianos a Gas*** Corresponden a camiones medianos con peso bruto entre 7.5 y 16 toneladas que utilizan como combustible Gas Natural Comprimido (GNC) o Gas Licuado de Petróleo (GLP). Estos camiones deben cumplir, ingresando al parque a partir de septiembre del 2003, con la normativa EPA 98 o Euro III. Notar que esta fecha de aplicación tiene aún cierto grado de incerteza y será aclarada una vez que la autoridad por decreto lo establezca.

- **Camiones Medianos Otros** Corresponden a camiones medianos con peso bruto entre 7.5 y 16 toneladas que no caen dentro de las alternativas anteriores. Esta categoría, dependiendo del tipo de modelación requerida, puede ser utilizada en el MODEM, por ejemplo, para evaluar camiones con tecnología híbrida, camiones que utilizan gasolina como combustible o flotas especiales que necesiten ser evaluadas en forma particular.
- **Camiones Pesados Diesel Convencional.** Corresponden a camiones pesados con peso bruto superior a 16 toneladas y cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados es anterior a Septiembre de 1994. Estos camiones no cumplen con ninguna norma de emisión para vehículos nuevos aplicable en Chile.
- **Camiones Pesados Diesel Tipo 1.** Corresponden a camiones pesados con peso bruto superior a 16 toneladas y cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados se encuentra entre Septiembre de 1994 y Septiembre de 1998. Cumplen con un estándar de emisión similar o superior al EPA91 norteamericano o Euro I europeo.
- **Camiones Pesados Diesel Tipo 2.** Corresponden a camiones pesados con peso bruto superior a 16 toneladas y cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados sea posterior a Septiembre de 1998. Cumplen con un estándar de emisión similar o superior al EPA94 norteamericano o Euro II europeo.
- **Camiones Pesados Diesel Tipo 3.** Corresponden a camiones pesados con peso bruto superior a 16 toneladas cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados sea posterior a Septiembre del año 2003. Estos buses deben cumplir con la normativa EPA 98 o Euro III. Notar que esta fecha de aplicación tiene aún cierto grado de incerteza y será aclarada una vez que la autoridad por decreto lo establezca.
- **Camiones Pesados Otros** Corresponden a camiones pesados con peso bruto superior a 16 toneladas que no caen dentro de las alternativas anteriores. Esta categoría, dependiendo del tipo de modelación requerida, puede ser utilizada en el MODEM, por ejemplo, para evaluar camiones con tecnología híbrida, camiones que utilizan gasolina como combustible o flotas especiales que necesiten ser evaluadas en forma particular.
- **Vehículos particulares catalíticos tipo 1.** Corresponden a vehículos livianos de pasajeros privados, principalmente del tipo auto sedan y station wagon. Cuentan con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape. El D.S. 211/91 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones establece que a partir del primero de septiembre de 1992, todos los vehículos de este tipo que se inscriban deberán cumplir con un estándar de emisión en particular que en la práctica significaba la incorporación de dispositivos catalíticos en el sistema de gases de escape.



- ***Vehículos particulares catalíticos tipo 2.*** Corresponden a vehículos livianos de pasajeros privados, principalmente del tipo auto sedan y station wagon que cuentan con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape y cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados sea posterior a Septiembre del año 2003. Estos vehículos deben cumplir en primera instancia con la normativa EPA 94 federal o la Euro III. Notar que la normativa específica y la fecha de aplicación tiene aún cierto grado de incerteza y será aclarada una vez que la autoridad por decreto lo establezca.
- ***Vehículos particulares No catalíticos.*** Corresponden a los vehículos livianos de pasajeros privados, principalmente del tipo auto sedan y station wagon y que no cuentan con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape. No cumplen con ninguna norma de emisión para vehículos nuevos aplicable en Chile.
- ***Vehículos particulares a Gas*** Corresponden a vehículos livianos de pasajeros privados, principalmente del tipo auto sedan y station wagon que utilizan como combustible Gas Natural Comprimido (GNC) o Gas Licuado de Petróleo (GLP). Estos vehículos deben cumplir, ingresando al parque a partir de septiembre del 2003, con la normativa EPA 94 federal o la EuroIII. Notar que la normativa específica y la fecha de aplicación tiene aún cierto grado de incerteza y será aclarada una vez que la autoridad por decreto lo establezca.
- ***Vehículos particulares Otros*** Corresponden a vehículos livianos de pasajeros privados, principalmente del tipo auto sedan y station wagon que no caen dentro de las alternativas anteriores. Esta categoría, dependiendo del tipo de modelación requerida, puede ser utilizada en el MODEM, por ejemplo, para evaluar vehículos con tecnología híbrida o flotas especiales que necesiten ser evaluadas en forma particular.
- ***Vehículos de alquiler catalíticos tipo 1.*** Corresponden a vehículos de alquiler tipo taxis básicos, principalmente del tipo auto sedan. Cuentan con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape. El D.S. 211/91 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones establece que a partir del primero de septiembre de 1992, todos los vehículos de este tipo que se inscriban deberán cumplir con un estándar de emisión en particular que en la práctica significaba la incorporación de dispositivos catalíticos en el sistema de gases de escape.
- ***Vehículos de alquiler catalíticos tipo 2*** Corresponden a vehículos de alquiler tipo taxis básicos, principalmente del tipo auto sedan que cuentan con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape y cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados sea posterior a Septiembre del año 2003 cumpliendo con la normativa EPA 94 federal o la Euro III. Notar que la normativa específica y la fecha de aplicación tiene aún cierto grado de incerteza y será aclarada una vez que la autoridad por decreto lo establezca.

- ***Vehículos de alquiler No catalíticos.*** Corresponden a vehículos de alquiler tipo taxis básicos, principalmente del tipo auto sedan que no cuentan con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape. No cumplen con ninguna norma de emisión para vehículos nuevos aplicable en Chile.
- ***Vehículos de alquiler a Gas*** Corresponden a vehículos de alquiler tipo taxis básicos, principalmente del tipo auto sedan que utilizan como combustible Gas Natural Comprimido (GNC) o Gas Licuado de Petróleo (GLP). Estos vehículos deben cumplir, ingresando al parque a partir de septiembre del 2003, con la normativa EPA 94 federal o la Euro III. Notar que la normativa específica y la fecha de aplicación tiene aún cierto grado de incerteza y será aclarada una vez que la autoridad por decreto lo establezca.
- ***Vehículos de alquiler Otros*** Corresponden a vehículos de alquiler tipo taxis básicos, principalmente del tipo auto sedan que no caen dentro de las alternativas anteriores. Esta categoría, dependiendo del tipo de modelación requerida, puede ser utilizada en el MODEM, por ejemplo, para evaluar vehículos con tecnología híbrida o flotas especiales que necesiten ser evaluadas en forma particular.
- ***Vehículos Comerciales Catalíticos Tipo 1.*** Corresponden a los vehículos livianos de pasajeros o carga liviana, privados o comerciales y que funcionan con combustible gasolina, principalmente del tipo jeep, camioneta o furgón y que cuentan con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape.
- ***Vehículos Comerciales Catalíticos Tipo 2.*** Corresponden a los vehículos livianos de pasajeros o carga liviana, privados o comerciales y que funcionan con combustible gasolina, principalmente del tipo jeep, camioneta o furgón y cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados sea posterior a Septiembre del año 2003 cumpliendo con la normativa EPA 94 federal o la Euro III. Notar que la normativa específica y la fecha de aplicación tiene aún cierto grado de incerteza y será aclarada una vez que la autoridad por decreto lo establezca.
- ***Vehículos Comerciales No catalíticos.*** Corresponden a los vehículos livianos de pasajeros o carga liviana, privados o comerciales y que funcionan con combustible gasolina, principalmente del tipo jeep, camioneta o furgón y que no cuentan con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape. Estos no cumplen con ninguna norma de emisión para vehículos nuevos aplicable en Chile.
- ***Vehículos Comerciales Diesel Tipo 1.*** Corresponden a los vehículos livianos de pasajeros o carga liviana, privados o comerciales y que funcionan con combustible diesel, principalmente del tipo jeep, camioneta o furgón. En general la flota de este tipo de vehículos presentes en la Región Metropolitana cumple con la normativa Euro I.
- ***Vehículos Comerciales Diesel Tipo 2.*** Corresponden a los vehículos livianos de pasajeros o carga liviana, privados o comerciales y que funcionan con combustible diesel, principalmente del tipo jeep, camioneta o furgón cuya fecha de inscripción



en el registro Nacional de Vehículos Motorizados sea posterior a Septiembre del año 2003 cumpliendo con la normativa EPA 94 federal o la Euro III. Notar que la normativa específica y la fecha de aplicación tiene aún cierto grado de incerteza y será aclarada una vez que la autoridad por decreto lo establezca.

- ***Vehículos Comerciales a Gas*** Corresponden a los vehículos livianos de pasajeros o carga liviana, privados o comerciales y que funcionan con combustible diesel, principalmente del tipo jeep, camioneta o furgón que utilizan como combustible Gas Natural Comprimido (GNC) o Gas Licuado de Petróleo (GLP). Estos vehículos deben cumplir, ingresando al parque a partir de septiembre del 2003, con la normativa EPA 94 federal o la Euro III. Notar que la normativa específica y la fecha de aplicación tiene aún cierto grado de incerteza y será aclarada una vez que la autoridad por decreto lo establezca.
- ***Vehículos Comerciales Otros*** Corresponden a los vehículos livianos de pasajeros o carga liviana, privados o comerciales y que funcionan con combustible diesel, principalmente del tipo jeep, camioneta o furgón que no caen dentro de las alternativas anteriores. Esta categoría, dependiendo del tipo de modelación requerida, puede ser utilizada en el MODEM, por ejemplo, para evaluar vehículos con tecnología híbrida o flotas especiales que necesiten ser evaluadas en forma particular.
- ***Taxis Colectivos Catalíticos Tipo 1.*** Corresponden a los vehículos de alquiler de recorrido fijo. Cuentan con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape. El D.S. 211/91 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones establece que a partir del primero de septiembre de 1992, todos los vehículos de este tipo que se inscriban deberán cumplir con un estándar de emisión en particular que en la práctica significaba la incorporación de dispositivos catalíticos en el sistema de gases de escape.
- ***Taxis Colectivos Catalíticos Tipo 2*** Corresponden a los vehículos de alquiler de recorrido fijo. Que cuenten con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape y cuya fecha de inscripción en el registro Nacional de Vehículos Motorizados sea posterior a Septiembre del año 2003. Estos vehículos deben cumplir en primera instancia con la normativa EPA 94 federal o la Euro III. Notar que la normativa específica y la fecha de aplicación tiene aún cierto grado de incerteza y será aclarada una vez que la autoridad por decreto lo establezca.
- ***Taxis Colectivos No catalíticos.*** Corresponden a los vehículos de alquiler de recorrido fijo que no cuentan con el dispositivo convertidor catalítico en el sistema de gases de escape. No cumplen con ninguna norma de emisión para vehículos nuevos aplicable en Chile.
- ***Taxis Colectivos a Gas*** Corresponden a los vehículos de alquiler de recorrido fijo que utilizan como combustible Gas Natural Comprimido (GNC) o Gas Licuado de

Petróleo (GLP). Estos vehículos deben cumplir, ingresando al parque a partir de septiembre del 2003, con la normativa EPA 94 federal o la EuroIII. Notar que la normativa específica y la fecha de aplicación tiene aún cierto grado de incerteza y será aclarada una vez que la autoridad por decreto lo establezca.

- ***Taxis Colectivos Otros*** Corresponden a los vehículos de alquiler de recorrido fijo que no caen dentro de las alternativas anteriores. Esta categoría, dependiendo del tipo de modelación requerida, puede ser utilizada en el MODEM, por ejemplo, para evaluar vehículos con tecnología híbrida o flotas especiales que necesiten ser evaluadas en forma particular.
- ***Motocicleta de Dos Tiempos Convencional.*** Corresponden a motocicletas equipadas con motores de dos tiempos y que no cumplen ninguna norma de emisión.
- ***Motocicleta de Dos Tiempos Tipo 1.*** Corresponden a motocicletas equipadas con motores de dos tiempos. Estos vehículos deben cumplir, ingresando al parque a partir de septiembre del 2003, con la normativa Euro I. Notar que la normativa específica y la fecha de aplicación tiene aún cierto grado de incerteza y será aclarada una vez que la autoridad por decreto lo establezca.
- ***Motocicleta de Cuatro Tiempos Convencional.*** Corresponden a motocicletas equipadas con motores de dos tiempos y que no cumplen ninguna norma de emisión.
- ***Motocicleta de Cuatro Tiempos Tipo 1.*** Corresponden a motocicletas equipadas con motores de dos tiempos. Estos vehículos deben cumplir, ingresando al parque a partir de septiembre del 2002, con la normativa Euro I. Notar que la normativa específica y la fecha de aplicación tiene aún cierto grado de incerteza y será aclarada una vez que la autoridad por decreto lo establezca.

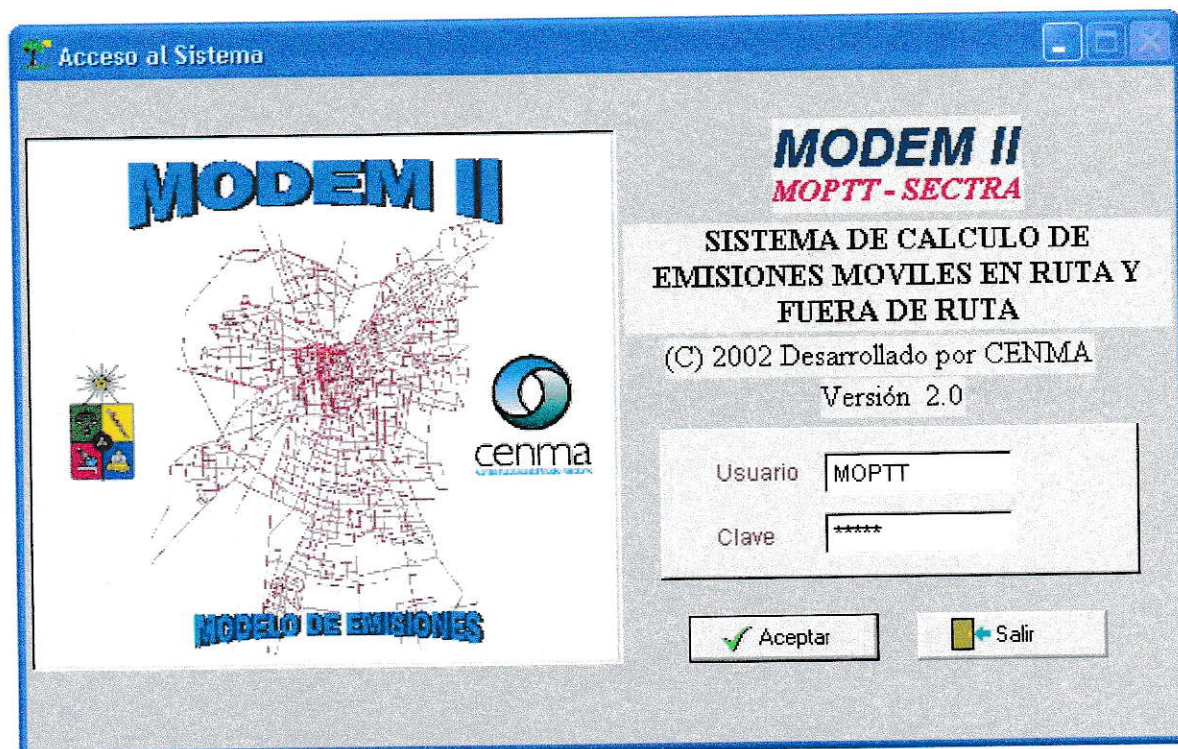


## ANEXO C: DESCRIPCIÓN DEL MODEM

### ESTRUCTURA DEL SISTEMA MODEM II

El MODEM II es un módulo desarrollado que proviene de un sistema desarrollado para el MOPTT llamado SAIE (Sistema de Administración de Inventario de Emisiones) que realiza el cálculo de emisiones para distintas fuentes contaminantes con el objeto de generar el inventario de emisiones y los archivos de entrada para el modelo AIRVIRO.

En la siguiente figura, se muestra la pantalla de acceso al MODEM II.



**Figura C.1:** Pantalla de acceso al MODEM II

El sistema se encuentra dividido en 3 módulos, los cuales se mencionan a continuación.

1. Módulo Utilitario
  - a. Módulo Geográfico
  - b. Módulo Químico
  - c. Módulo Administrativo
  - d. Módulo Meteorológico
  
2. Módulo de Emisiones
  - a. Módulo de Fuentes Móviles en Ruta
  - b. Módulo de Fuentes Móviles Fuera de Ruta

### 3. Modelación

- a. Salidas del Sistema
- b. Salidas ArcView

- El módulo Geográfico muestra como se debe cargar la información geográfica de una región para la georeferenciación de las emisiones. Organiza el traspaso de información geográfica a los modelos de dispersión que tiene el sistema.
- El módulo Químico muestra como se debe ingresar los antecedentes químicos que manejará la base de datos y que tipo de servicios anexos puede prestar dicho módulo.
- El módulo Administrativo cumple el servicio administrador del sistema, es decir, presenta el estado de la base de datos actual, así como facilidades para cambiarse de una base de datos a otra o eliminar bases de datos de información obsoleta.
- El módulo Meteorológico contiene la información meteorológica de la región de distintos años, de la base de datos actual, permitiendo el cálculo de un año promedio.
- Los módulos de Emisiones presentan como y en que prioridad se debe ingresar la información, los procesos necesarios para realizar el cálculo de emisiones y como visualizar los resultados obtenidos
- El módulo de Modelación muestra los resultados obtenidos del proceso de generación de archivos de entrada para los modelos.

Cabe hacer notar que las salidas del sistema, presenta las distintas combinaciones de reportes que el sistema puede entregar tanto para los módulos de emisiones del sistema como el reporte tipo inventario PPDA, además de presentar gráficos ilustrativos de emisiones.

### **OBJETIVOS DEL SISTEMA MODEM II**

Los principales objetivos del sistema se enuncian a continuación:

- Reunir una diversidad de información de datos relacionados con el inventario de emisiones provenientes de instituciones públicas y privadas, nacionales como internacionales.
- Ordenar los datos coherentemente en bases de datos
- Actuar como pre – procesador para generar los archivos de entrada a los sistemas UAM y AIRVIRO.
- Generar el inventario de emisiones de las regiones
- Entregar, a través de consultas y reportes , información relevante para la gestión atmosférica de las regiones.



## ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA MODEM II

El MODEM II es un sistema flexible tanto en su instalación como en su manejo, además de ser independiente, ya que cada módulo que lo conforma trabaja en forma separada y puede ser modificado, tanto en su información como en sus metodologías sin alterar a los demás módulos.

Es un sistema diseñado en forma modular por lo que se tiene tres tipos de módulos: de Emisiones, Utilitarios y de Modelación, éste último se obtiene producto de los dos anteriores.

El módulo de emisiones se encuentra dividido en fuentes en ruta y fuera de ruta y el módulo utilitarios son aquellos que sirven de plataforma para el buen funcionamiento y desempeño del sistema.

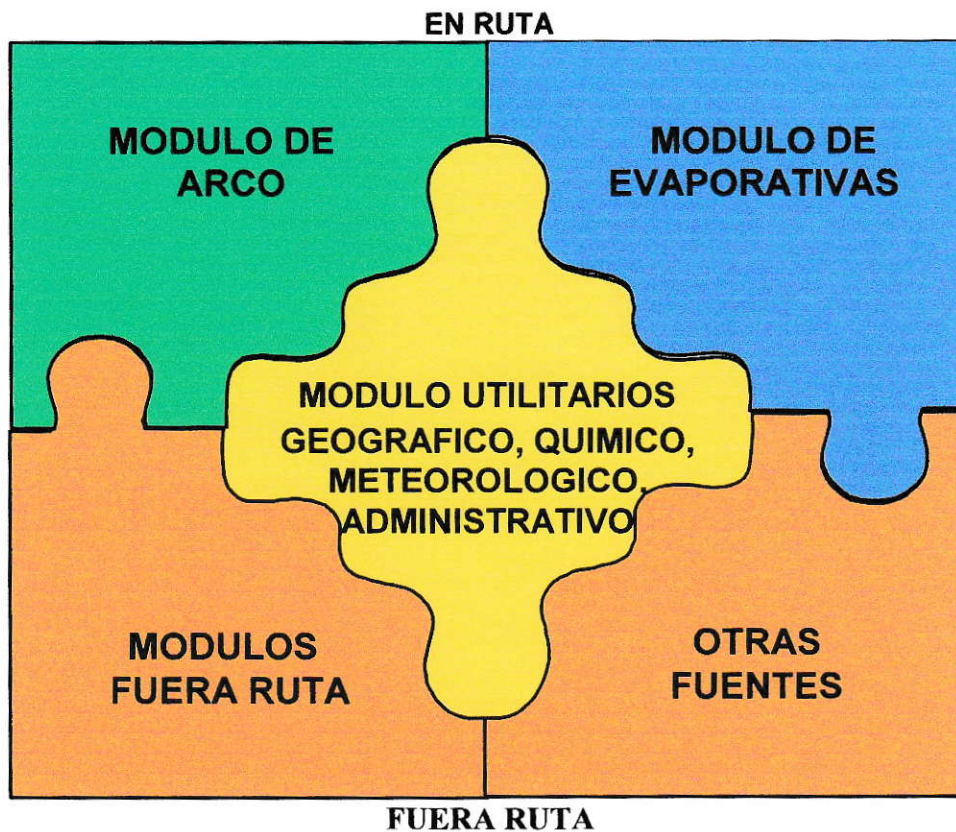
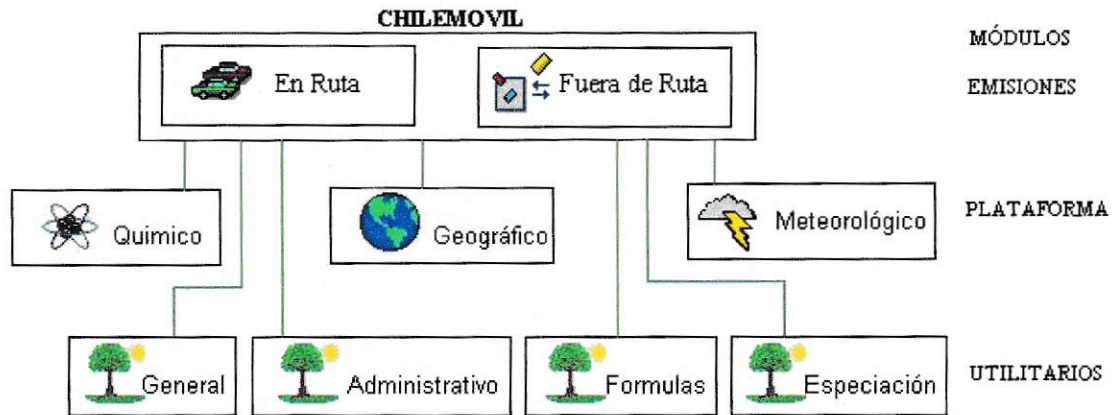


Figura C.2: Módulos del Sistema MODEM II

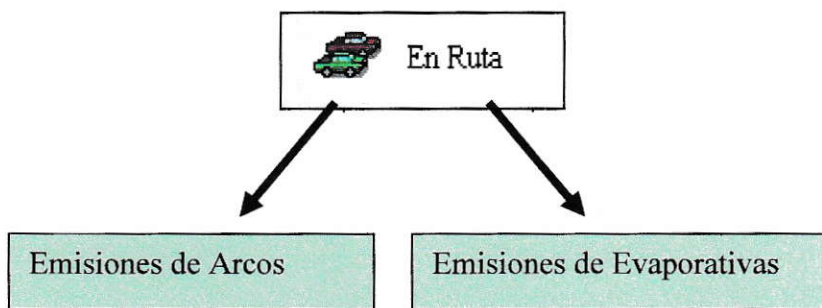
## MÓDULO DE EMISIONES



El sistema CHILEMOVIL cuenta actualmente con dos módulos de emisiones uno en ruta y otro fuera de ruta. Cabe señalar que el modulo fuera de ruta no tiene incorporado metodologías de cálculo programadas en el sistema, estas son preprocesadas y posteriormente ingresadas en forma comunal al sistema. Además el sistema cuenta con módulos de plataforma y utilitarios que soportan y entregan información a los módulos de emisiones. En la siguiente figura se presenta la estructura general del sistema desarrollado.

### Módulo de fuentes en ruta

El módulo de fuentes en ruta se encuentra a la vez subdividido en dos módulos : Emisiones de Arco y Emisiones Evaporativas.

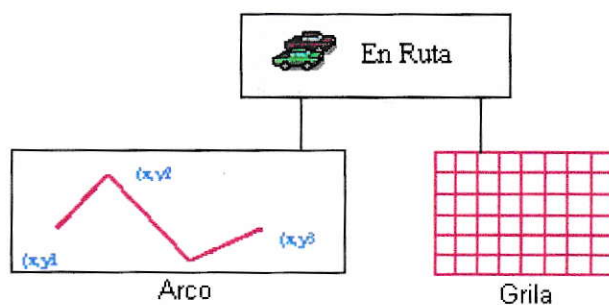


**Figura C.3:** Emisiones del modulo en ruta.

- *Emisiones de Arco.* Calcula las emisiones provenientes de los vehículos que circulan en la red vial, tanto de los de sectores urbanos como los de carreteras y satélites urbanos y cuya información es proporcionada por arco. Los tipos de descarga desarrollados en este modulo son los siguientes:
  - Tubo de escape
  - Desgaste de freno
  - Desgaste de neumáticos
  - Calles Pavimentadas
- *Emisiones Evaporativas.* Las emisiones evaporativas de los vehículos que se desplazan de un lugar a otro y que son calculadas con información a nivel comunal. Los tipos de descarga desarrollados en este módulo son:
  - Partidas en frío
  - Detenciones en caliente
  - Durante el día
  - Durante el recorrido

La forma en que el sistema entrega las emisiones son a nivel de arco y comunal para las emisiones de arco y a nivel comunal para las emisiones evaporativas.

Cabe hacer notar que los archivos entregados al modelo de dispersión AIRVIRO son lineales para las emisiones de arco y en grillas de una cierta dimensión para las emisiones evaporativas



**Figura C.4:** Tipos de archivos AIRVIRO generados por el modulo en ruta

Cabe hacer notar que por el momento las fuentes que constituyen el módulo de fuentes en ruta son las que se presentan en la siguiente tabla pero que se encuentra en etapa de discusión una nueva tipificación de ellos.



**Tabla C.1: Clasificación de fuentes existentes en el sistema**

<b>Cod. CCF8</b>	<b>Descripción</b>
70100101	Particular con convertidor catalítico
70100102	Particular sin convertidor catalítico
70100103	Comercial con convertidor catalítico
70100104	Comercial sin convertidor catalítico
70100105	Comercial diesel
70100106	Taxis con convertidor catalítico
70100107	Taxis sin convertidor catalítico
70100108	Motos 2 tiempos
70100109	Motos 4 tiempos
70100201	Camiones livianos dos ejes (-16 Ton)
70100202	Camiones pesados mas de 2 ejes (+16 Ton)
70100203	Buses licitados PRE-EPA91
70100204	Buses licitados EPA91
70100205	Buses licitados EPA94
70100206	Buses no licitados tipo Pullman
70100207	Buses no licitados Interurbanos
70100208	Colectivos con convertidor catalítico
70100209	Colectivos sin convertidor catalítico

En cuanto al modulo de fuentes móviles en ruta, éste es un módulo que no se aplicará en esta metodología. Los alcances de este estudio se limitan al desarrollo y aplicación de fuentes en ruta.

## ANEXO D Comprehensive Air quality Model with Extensions (CAMx)

El Comprehensive Air quality Model with Extensions (CAMx) es un modelo de grilla fotoquímico Euleriano que permite una predicción integrada de contaminación atmosférica debido a gases y material particulado (MP) sobre escalas que varían desde la urbana a la súper-regional. Su diseño permite una integración de sistemas en uno sólo de gran eficiencia computacional, fácil uso y de uso público. Es muy interesante el hecho de que los archivos de entrada y salida, input y output respectivamente, cumplen con los mismos formatos utilizados por el Urban Airshed Model (UAM) por lo que son compatibles con las herramientas de pre- y post-procesamiento de datos.

CAMx simula la emisión, dispersión, reacciones químicas y remoción de contaminantes en la baja tropósfera por medio de la solución de la ecuación de continuidad para cada especie contaminante (I) en un sistema de grilla tridimensional. Esta ecuación de continuidad Euleriana describe la dependencia del tiempo de la concentración promedio de las especies (densidad,  $c_i(t)$ ) para cada volumen de celda de la grilla como una suma de todos los procesos químicos y físicos asociados operando en el volumen de control. La expresión matemática de esta ecuación, con una altura ( $z$ ) que sigue el terreno, viene dada por:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = -\nabla_H \cdot \vec{V}_H c_i + \left[ \frac{\partial(c_i \eta)}{\partial z} - c_i \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right) \right] + \nabla \cdot \rho K \nabla (c_i / \rho) \\ + \left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{Chemistry} + \left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{Emission} + \left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{Removal}$$

donde  $V_H$  = Componente horizontal del viento  
 $\eta$  = Razón "entrainment" vertical  
 $h$  = Altura de interface de la capa  
 $\rho$  = Densidad atmosférica  
 $K$  = Coeficiente de intercambio turbulento.

El primer término de la derecha representa la advección horizontal, el segundo término representa transporte vertical neto resuelto a lo largo de la variación de espacio- y tiempo-arbitrario en la altura de grilla, y el tercer término representa la difusión turbulenta a escala de sub-grilla. La química es tratada por medio de la resolución simultánea de un set de ecuaciones de reacción definidas por mecanismos químicos específicos. La remoción de contaminantes incluye la deposición seca y húmeda debida a la precipitación líquida.

La ecuación de continuidad es calculada numéricamente en una serie de pasos consecutivos en el tiempo. En cada paso, esta ecuación es reemplazada por una aproximación tiempo-separadora que calcula por separado la contribución de cada gran proceso (advección, difusión, química, etc.) al cambio de concentración dentro de cada celda de la grilla en

cuestión. Aunque la advección es desarrollada por separada para cada dirección ( $x, y$  y  $z$ ), el nexo numérico entre estos procesos ha sido desarrollado en una forma que es consistente con la masa a fin de preservar el campo de densidades para cada paso temporal de cálculo.

El intervalo de tiempo para cada nueva iteración del modelo está determinado para asegurar la estabilidad numérica de la advección horizontal de la grilla en bruto. Los intervalos para cada paso generalmente se sitúan dentro de un rango de 5-30 minutos para celdas de grilla de 10-50 Km., y hasta menos de un minuto para celdas de 1-2 km. Pasos múltiples de iteración son tomados por cada paso maestro con el fin de asegurar una solución precisa de las muy numéricamente rígidas ecuaciones químicas.

### **Arreglos de Celdas de Grilla**

La forma en que CAMx lleva las concentraciones es mediante la consideración de la ésta al centro de cada celda, que representa la concentración promedio de toda la celda. Las variables de estado como la temperatura, humedad, cobertura de nubes, y coeficientes de difusión vertical son posicionadas al centro de la celda para también representar el valor promedio de éstos a lo largo de toda el área de la celda. Las componentes del viento son llevadas a las interfaces horizontales de cada celda para así describir el transporte desde y hacia éstas.

En cuanto a la componente vertical de la grilla, CAMx lleva la mayoría de las variables como su promedio en el centro de la altura de cada capa (definiendo este punto como la distancia media entre las interfaces de capa). Las excepciones a estas variables son aquellas que describen las tasas de transporte de masa entre interfaces de capa, las que incluyen el coeficiente de difusión vertical,  $K_v$ , y la tasa de “entrainment” vertical,  $h$ . Estas variables son llevadas al centro de cada celda horizontal, pero son ubicadas en el techo de la capa (i.e., la interfaz).

El CAMx incorpora el anidamiento de grilla horizontal y vertical de dos vías, lo que significa que la información de la concentración de contaminantes se propaga desde y hacia todos los nidos de grilla finos. Para cada corrida se pueden especificar cualquier número de nidos de grilla, al tiempo que el espaciamiento y la estructura de capas verticales de la grilla pueden variar de un nido de grilla a otro.

### **Química**

Los mecanismos químicos proporcionados en CAMx están basados en la versión 4 del Carbon Bond Mechanism (CBM-IV; Gery et.al., 1989) o en el mecanismo SAPRC97 (Carter, 1990).

Las tasas de fotólisis son derivadas para cada celda asumiendo condiciones de cielo despejado y como función de cinco parámetros, a saber: ángulo de zenit solar, altitud, columna total de ozono, albedo superficial, y turbiedad atmosférica. Las tasas son tomadas



de una gran tabla que contiene el rango de condiciones para cada una de las cinco dimensiones. Esta tabla puede ser desarrollada y vista mediante el uso de procesador TUV de fotólisis que contiene el CAMx.

La presencia de nubes afecta significativamente las tasas de fotólisis. La versión 3.00 de CAMx<sup>1</sup> ofrece dos posibilidades para tratar el impacto de las nubes en la fotólisis. La primera opción se puede invocar mediante el uso de archivos de nubes tipo UAM-IV. La segunda opción, que es una mejoría sobre la primera, está basada en la aproximación RADM (Chang, et al., 1987). El último esquema requiere información de horizontal de la cobertura de nubes, profundidad, y contenido de agua líquida para así poder derivar la profundidad óptica de las nubes para cada celda. Luego, la profundidad óptica se usa para escalar hacia abajo las tasas para capas que se encuentran dentro o bajo las nubes para así considerar la atenuación de los rayos UV, o para escalar hacia arriba las tasas para capas sobre las nubes al considerar el reflejo.

### **Archivos de Entrada que Exige CAMx**

Todos estos archivos son binarios y son generados por sendos programas de preprocesamiento disponibles en la distribución de dominio público de CAMx o por programas elaborados expresamente por DICTUC.

- IBCS: este preprocesador entrega las condiciones de inicio en tres dimensiones y las condiciones de borde del dominio;
- CHEMPARS: parámetros de reactividad de los contaminantes; define el mecanismo fotoquímico que usa CAMx, en este caso CBM-IV;
- EMISSIONS: Del Sistema de Administración de Inventario de Emisiones (SAIE) se extraen archivos en formato ASCII y a través del código EMISCON se obtienen archivos binarios;
- THERMOS: Este módulo genera tres archivos binarios con valores en tres dimensiones para los distintos niveles de temperatura, difusividad vertical (Kv), humedad atmosférica y presión. Se utilizan como archivo de entrada las alturas de terreno generadas por el preprocesador de CALMET (TERREL);
- PTSOURCE: se ingresan datos de fuentes puntuales. Actualmente este módulo no es utilizado y las fuentes puntuales se consideran en el módulo EMISSION, aproximándolas a fuentes de grilla. Posteriormente se va a utilizar, en la medida que se disponga de un inventario de fuentes fijas con las especiaciones requeridas para CAMx;
- LAND: en este modulo se crea un archivo binario con los usos de suelo, a partir de un archivo de entrada generado por el preprocesador de CALMET (CTGPROC) y de mapas satelitales disponibles en Internet (USGS);
- AHOMAP: ocupa información satelital de ozono y el archivo binario de uso de suelos generado en el módulo LAND. Genera un mapa en dos dimensiones con los valores de las columnas totales de ozono, turbiedad atmosférica y albedo del suelo;

---

<sup>1</sup> Que es la usada para todas las modelaciones en la presente memoria.

- TUV: en este módulo se calculan las reacciones de fotólisis usando un modelo radiactivo para la atmósfera, el cual considera valores de columna de ozono, turbiedad atmosférica y albedo superficial;
- WIND: ocupa el archivo ascii de vientos para crear un archivo binario con información de la grilla del campo de vientos. Esto es alternativo al uso del DWM (Diagnostic Wind Model), ya que se considera que CALMET es un preprocesador más actualizado y confiable que DWM;

El programa principal de CAMx recibe todos los archivos anteriormente nombrados. El archivo de entrada especifica la ubicación de los archivos binarios de cada módulo y el directorio con los archivos de salida. Además en este archivo se realiza control de la simulación (equivalente a lo que se hace en el módulo SPREP de UAM-IV. Se ingresan datos como fecha de inicio, fecha de término, máximo tiempo de cada etapa de simulación, tolerancia relativa de error, etc. De la ejecución de CAMx resultan 6 archivos:

- 1) AVERAGE: promedios horarios, en todos los intervalos, y para todas las especies;
- 2) OUT: archivo de revisión, explica posibles errores en la simulación;
- 3) DIAG: Archivo de diagnóstico más detallado que el anterior;
- 4) MASS: Aquí se revisan los balances de masa de cada contaminante, tomando en cuenta ingreso al dominio, salida del dominio, formación, destrucción, emisión, etc.;
- 5) INSTANTÁNEO 1 y 2: entregan la concentración de cada contaminante al inicio y al final de cada intervalo, respectivamente. Se almacena solamente la última hora modelada.

### **Operación y Coordinación de CALMET y CAMx**

En general, la utilización de modelos de contaminación atmosférica avanzados, como por ejemplo los de tipo Lagrangiano o Euleriano, sólo se justifica en un contexto de planes de contaminación o estudios de dimensiones relevantes sobre el fenómeno, ya que los recursos requeridos para poder implementarlos son considerables desde el punto de vista de horas hombre, complejidad de análisis y manejo de datos. Es decir, la mera aplicación del modelo se constituye en un proyecto de ingeniería (Lectura 5 / ICH-3342 / semestre 01-II).

A continuación se muestran dos figuras que muestran la implementación del sistema de modelación CALMET – CAMx. En la Figura E.1 se muestran los datos de entrada, subrutinas y procedimientos necesarios para la ejecución del programa CALMET. Para el caso de la Figura I.2 se muestran las rutinas y archivos necesarios para implementar CAMx a partir de la meteorología entregada por CALMET (Castro, 2002).



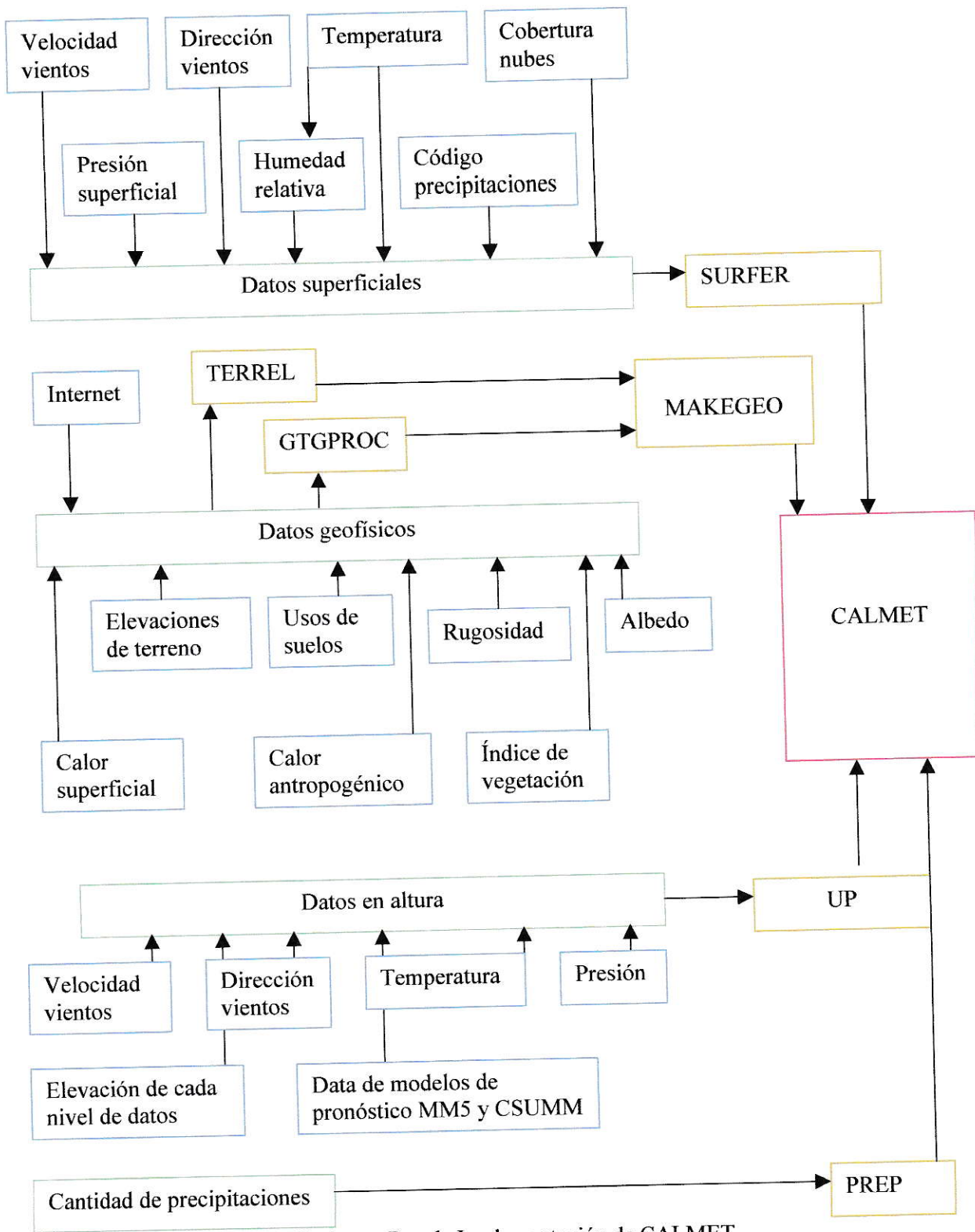


Figura E.1. Procedimientos Para la Implementación de CALMET.



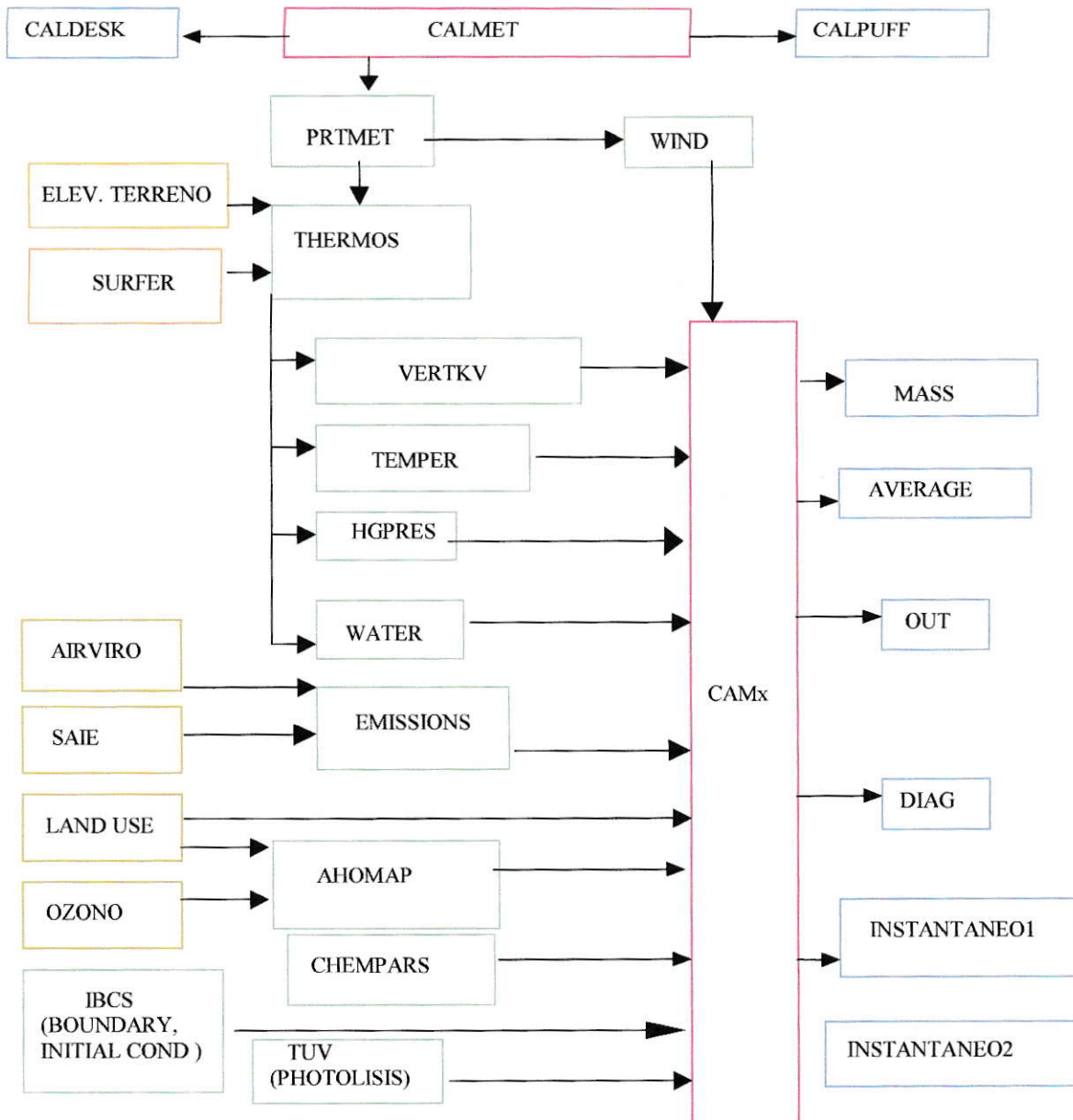


Figura E.2. Procedimiento Para la Implementación de CAMx.

Las últimas dos figuras muestran un esquema de los datos que son necesarios par ser incorporados en los archivos de entrada de los modeladores CALMET y CAMx. Una vez realizador estos procedimientos se reporta lista una simulación. Si en la revisión de los datos se concluye que se hace necesaria una nueva simulación, o si simplemente se deseara hacerlo, se debe tener muy claro qué es lo que se desea corregir. Es decir, si se determinara que una nueva simulación meteorológica es lo que se necesita, el protocolo a seguir sólo incluye cambios para lo que indica la Figura E.1, en tanto que el resto de los archivos quedarían sin cambios. Una situación análoga se reporta para cambios en, por ejemplo, los parámetros de CAMx.

Una vez obtenidas la simulación, el proceso que se sigue regularmente es la revisión de los datos. Esto es, comparar los datos observados ( $O_i$ ) con los simulados ( $P_i$ ). El procedimiento a seguir es fijar un punto de la grilla, en el que se encuentre una estación de monitoreo de contaminantes, para luego graficar en una escala horaria las concentraciones observadas y simuladas de los contaminantes que se desee verificar. Para simplemente verificar la dispersión se enfoca el análisis en contaminantes inertes como el CO.

## ANEXO E: ARCHIVOS UTILIZADOS POR CALMET

CALMET es un programa de diagnóstico de campos de viento conformado por un módulo de campos de viento y por módulos micrometeorológicos para capas límites sobre agua y sobre tierra. Utiliza un sistema de grillas consistente en NZ niveles verticales de NX por NY celdas cuadradas horizontales. Al ser un programa de diagnóstico, modela en estado estacionario.

CALMET requiere de los siguientes datos de entrada:

1. Datos superficiales, los cuales corresponden a observaciones horarias de:

- Velocidad de vientos.
- Dirección de vientos.
- Temperatura.
- Cobertura de nubes.
- Altura de nubes.
- Presión superficial-Humedad relativa.
- Código de Precipitaciones (en función de su congelamiento).

Estos datos de entrada se ingresan en un archivo SURF.dat del programa SURFER. Los datos se entregan en un solo archivo, en el cual se encuentra la información provenientes de todas las estaciones de meteorología superficial.

- Cantidad de Precipitaciones (codificadas de acuerdo a su estado físico) Este dato de entrada se genera del programa PREP obteniendo un archivo PREP.dat.

2. Datos en altura, observaciones (mínimo dos veces al día) de:

- Velocidad de vientos.
- Dirección del Viento.
- Temperatura.
- Presión.
- Elevación de cada nivel de datos.
- Data de modelos de pronóstico MM5 y CSUMM (opcional): no se ha utilizado hasta el momento.

Los datos en altura se entregan por estación, es decir, para n estaciones se requieren n archivos del tipo UP.dat.

Se pueden desarrollar estaciones virtuales a partir de los resultados del modelo HIRLAM, a través de un programa de visualización y manejo de datos denominado GRADS que maneja los archivos en formato .GRIB producidos por HIRLAM. Los resultados de HIRLAM corresponden a varios conjuntos de simulaciones para periodos de 30 días (aproximadamente), entre Abril de 1997 y Diciembre 2000, los cuales se realizaron mediante el apoyo de la cooperación con el Reino de Suecia, y se encuentran disponibles en el CENMA.



### 3. Datos geofísicos:

- Elevaciones de terreno.
- Categorías de uso de suelos.
- Rugosidad superficial (opcional).
- Albedo (opcional).
- Razón de Bowen (opcional).
- Constante del flujo de calor superficial (opcional).
- Constante de flujo de calor antropogénico (opcional).
- Índice de vegetación (opcional).

Los datos geofísicos se incluyen en archivos del tipo GEO.dat.

### 4. Otras fuentes de datos son las siguientes:

- SEA.dat: datos provenientes de estaciones sobre agua.
- CLOUD.dat: datos grillados de cobertura de nubes.
- PARAMSET: archivo que declara los valores de parámetros utilizados.
- CALMET.inp: archivo de control que configura el modelo: se define tamaño de grillas, archivos de entrada, tipos de estaciones...

#### **Preprocesadores para CALMET.**

SURFER: de AIRVIRO se exportan los datos superficiales de entrada, los cuales son ordenados en EXCEL, para de esta forma poder obtener un archivo de texto (.txt). Este archivo es enviado al programa SURFER, del cual se obtiene el archivo de entrada para CALMET, donde se ordenan los datos superficiales de todas las estaciones utilizadas, de acuerdo al formato que requiere CALMET.

PREP: opera análogamente al SURFER pero para datos superficiales de precipitaciones.

UP: ídem a SURFER y PREP pero para datos de estaciones en altura. En este caso se creó un macros en el programa EXCEL para poder obtener el formato de entrada que requiere el programa UP.

Datos geofísicos: de INTERNET se obtienen archivos del tipo GTOPO30.data con las elevaciones del terreno a ser modelado. Este archivo es procesado por el programa preprocesador TERREL, del cual se obtiene un archivo de texto con las elevaciones estimadas en los puntos de la grilla. De la red también se sacan datos sobre usos de suelo, de los cuales el programa CTGPROC obtiene otro archivo de texto que contiene los usos dominantes de suelo para cada celda de la grilla. Ambos archivos son usados por el programa MAKEGEO para producir 2 nuevos tipos de archivos: GEO.dat para CALMET y TERRAIN.bin para UAM. El primero contiene (en formato texto) las características de la grilla: elevaciones, usos de suelo, razón de Bowen, albedo, etc para cada grilla. El segundo es un archivo binario requerido por UAM, el cual contiene rugosidades de terreno, resistencias de la vegetación a la depositación y cobertura vegetal, para cada punto de la grilla.

CALMET crea 2 archivos de salida:

- Archivo.lst en formato ASCII, el cual puede ser revisado y modificado, para verificar que se ha llamado a CALMET con los archivos y opciones apropiadas.

- Archivo.dat en archivo binario con toda la información obtenida por el programa. Se usa en el módulo de dispersión CALPUFF (Lagrangeano).

Post-procesadores de CALMET.

En el programa CALDESK se ingresa el archivo CALMET.inp y se pueden visualizar distintas variables de entrada y de salida de CALMET: velocidad de vientos, alturas de mezcla, temperatura, precipitaciones, etc.

### **Principales archivos utilizados por CALMET**

Archivos de entrada:

PARAMS.MET: Archivo que declara los valores de los parámetros utilizados.

CALMET.INP: Archivo de control donde se configura el modelo.

GEO.DAT: Datos geofísicos.

SURF.DAT: Observaciones horarias de las estaciones superficiales

PRECIP.DAT: Observaciones de precipitaciones.

UP.DAT: Datos en altura (un archivo por estación)

SEA.DAT: Datos sobre cuerpos de agua (un archivo por estación) (opcional)

MM4.DAT: Datos meteorológicos grillados de pronóstico (opcional)

CLOUD.DAT: Datos grillados de nubes (opcional)

Archivos de salida:

CALMET.DAT: Resultados meteorológicos del modelo. Velocidad y dirección de vientos, temperatura, presión, altura de mezcla, longitud de Monin-Obukhov, etc. en las distintas grillas y en los NZ niveles de altura configurados- (archivo binario)

CALMET.LST: Archivo de lista de outputs. Aquí se imprime la parte de los resultados meteorológicos que el usuario escoja y además el archivo consta de un registro de los nombres de archivos de entrada y salida, además hace una copia del archivo de control (CALMET.INP); esta copia se interrumpe en caso de error en la ejecución del modelo, la interrupción ocurre en el punto del archivo de control donde se registra el error a manera de indicación del archivo de entrada y lugar donde esta el conflicto. También CALMET.LST sirve para ir depurando los resultados de la simulación, así como extraer resultados en formato ASCII.

La ejecución de CALMET esta dividida en tres fases principales: el montaje (setup), la fase computacional y la fase de terminación.

En la fase de montaje se contempla una variedad de operaciones de inicialización, “input-output” (I/O) de un solo tiempo y operaciones computacionales. Algunas de estas operaciones verifican la consistencia de los archivos de entrada con el archivo de control, fechas de inicio y fin, típicamente.

La fase computacional del modelo incluye el circuito básico de tiempo en el cual los datos horarios de campos grillados de vientos y las variables meteorológicas horarias son generados, a partir del procesamiento computacional de los datos de entrada.

La fase final de la ejecución del modelo corresponde a funciones de terminación. Esta fase incluye el cierre de todos los archivos activos de información, el cálculo del tiempo de ejecución y la impresión de los mensajes de término.



## **ANEXO F**

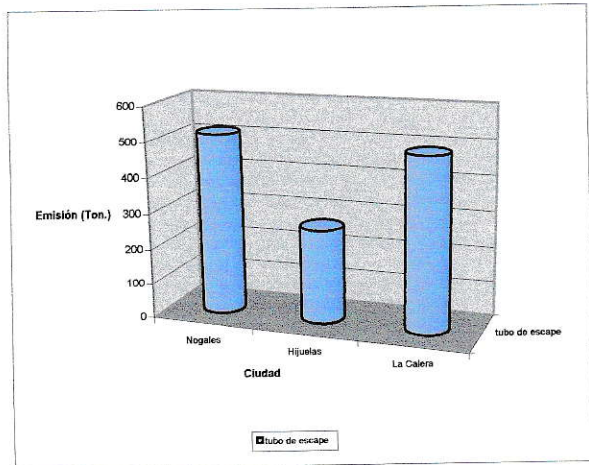


Figura F.1: Emisiones de SO<sub>2</sub> por tubo de escape

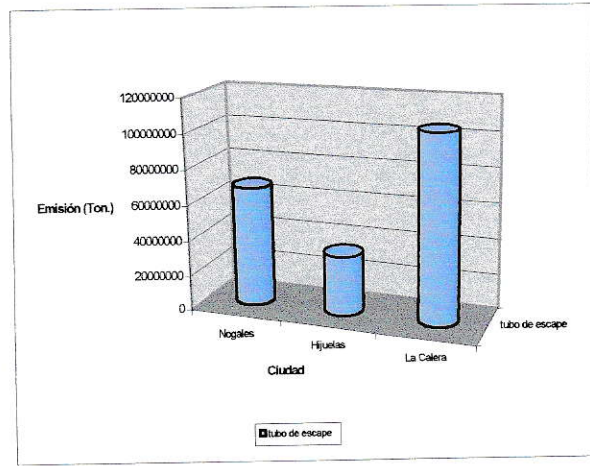


Figura F.2.: Emisiones de amoniaco por tubo de escape

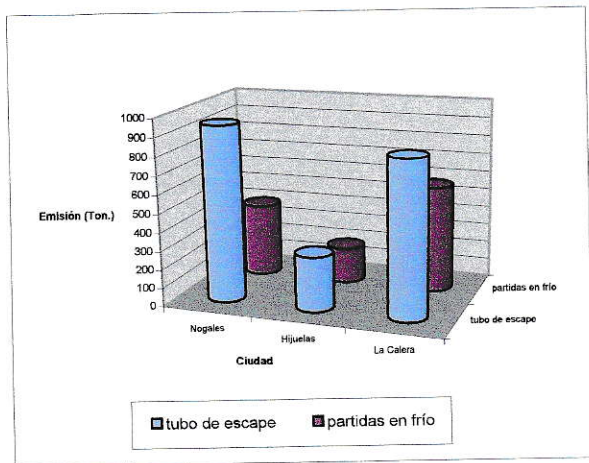


Figura F.3.: Emisiones de CO por tubo de escape y por partidas en frío

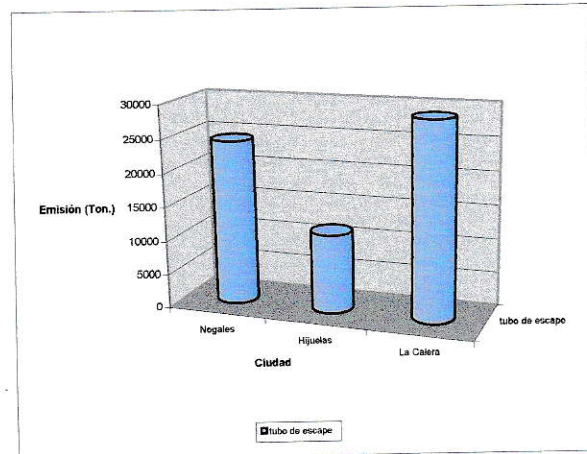


Figura F.4.: Emisiones de CO<sub>2</sub> por tubo de escape

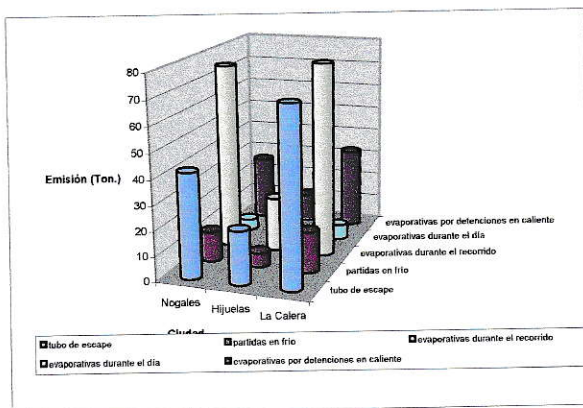


Figura F.5.: Emisiones de COV

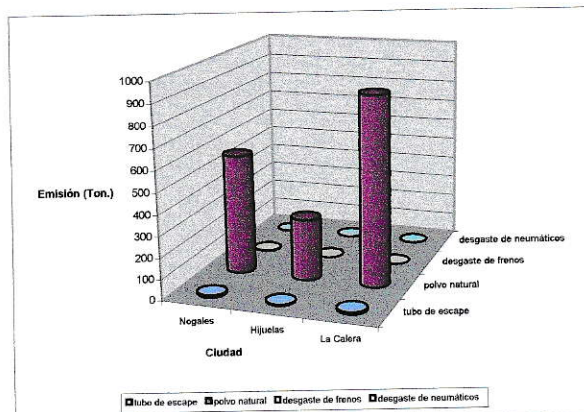


Figura F.6.: Emisiones de PTS

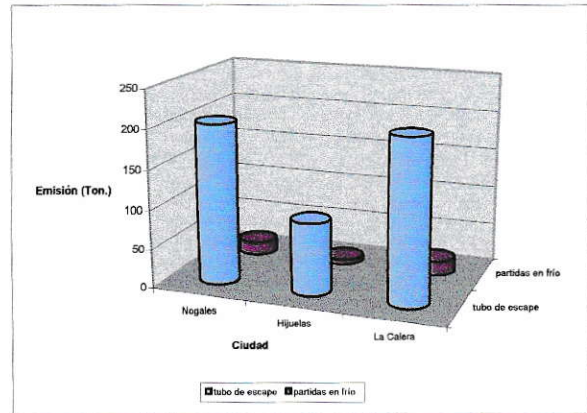
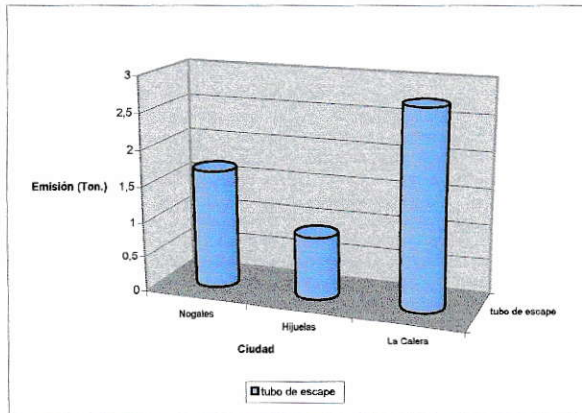


Figura F.7.: Emisiones de óxido nítrico por tubo de escape

Figura F.8.: Emisiones de óxido de nitrógeno

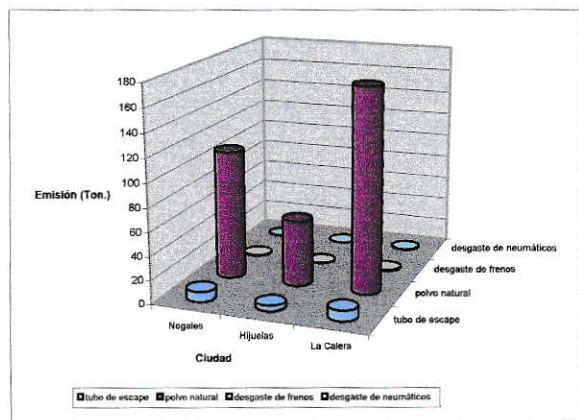


Figura F.9.: Emisiones de PM 10

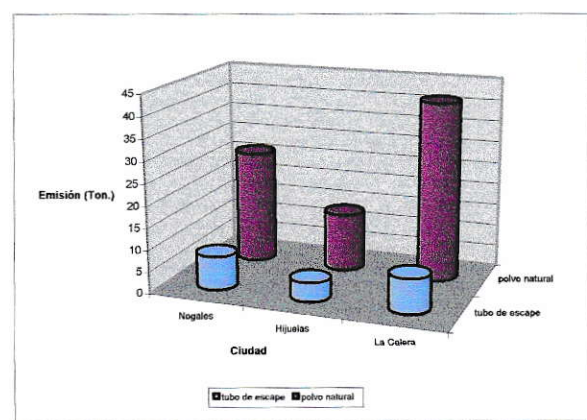


Figura F.10.: Emisiones de PM 2,5

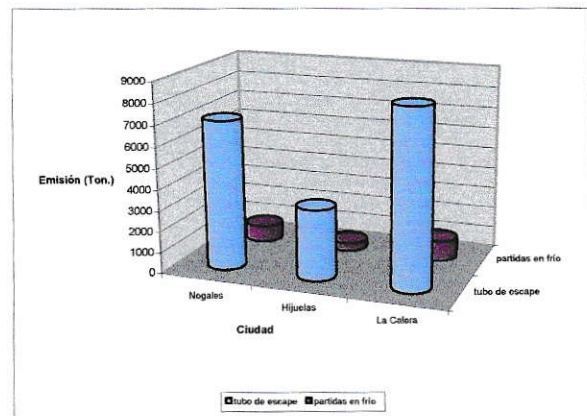


Figura F.11.: Emisiones por consumo de combustible

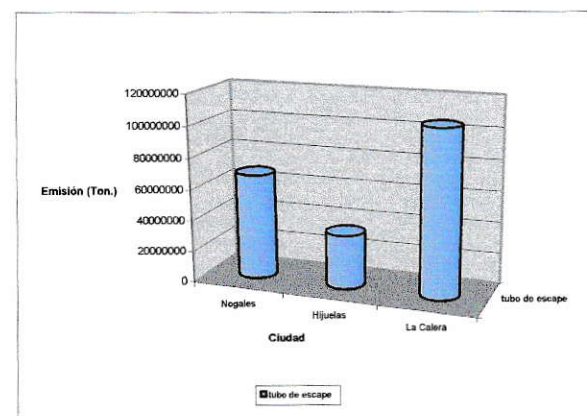
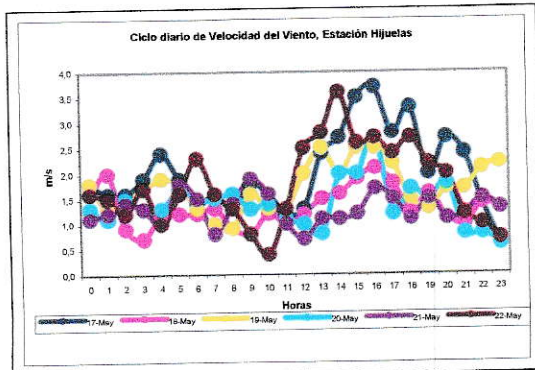
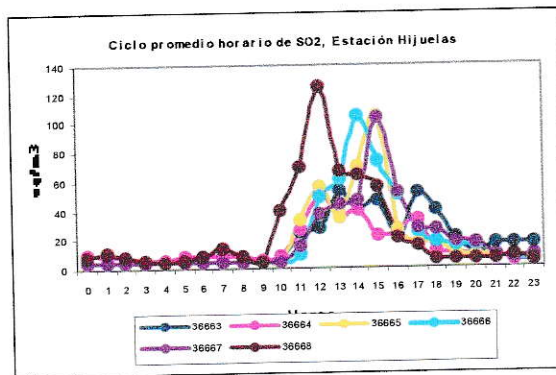
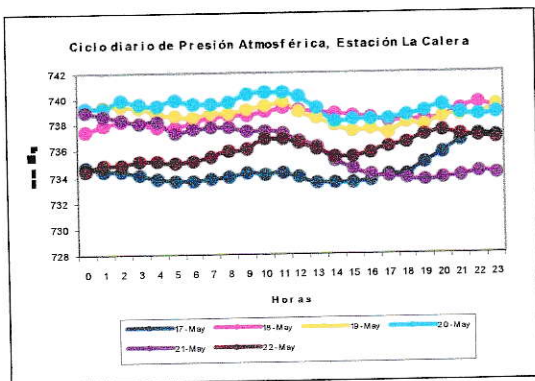
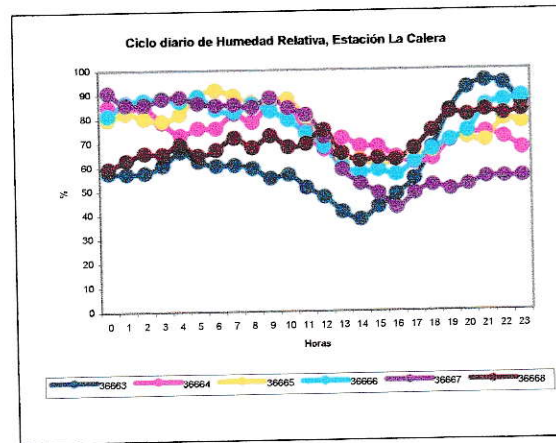
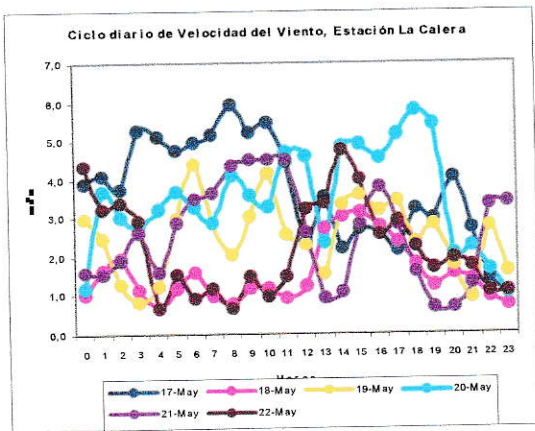
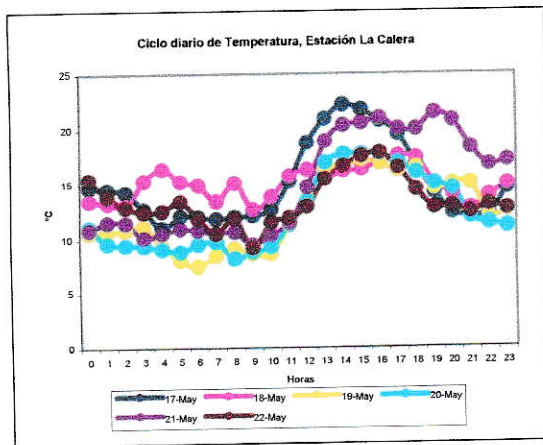
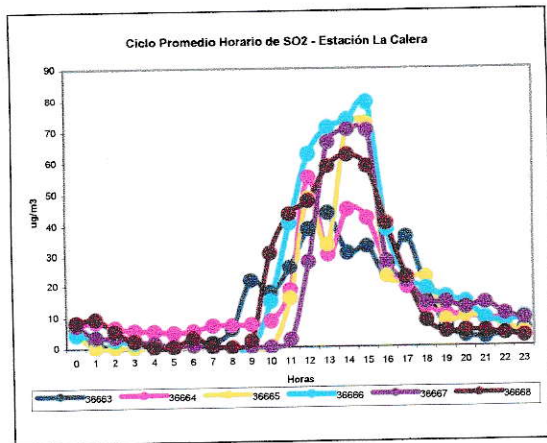


Figura F.12.: Emisiones por kilómetros recorridos



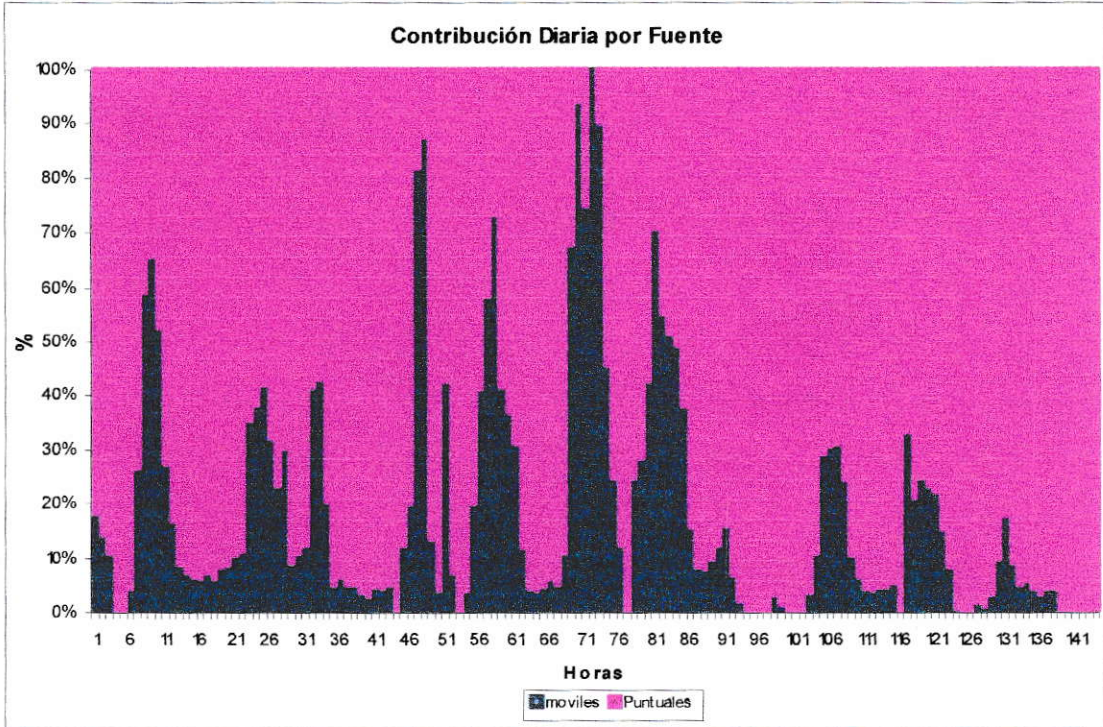
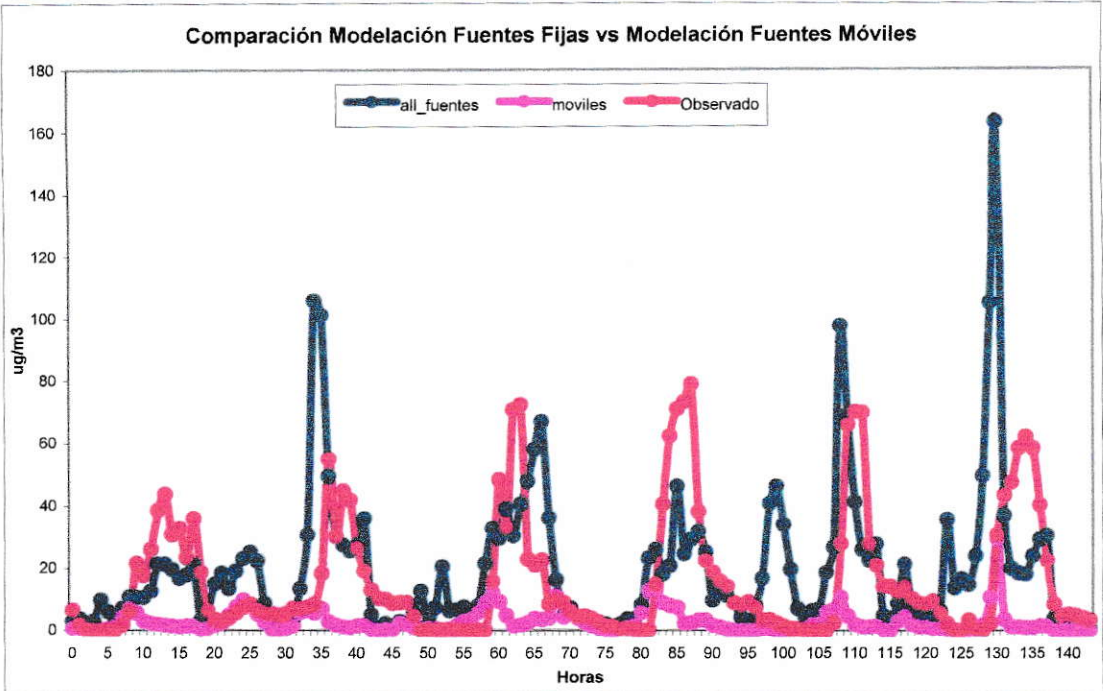
## **ANEXO G**

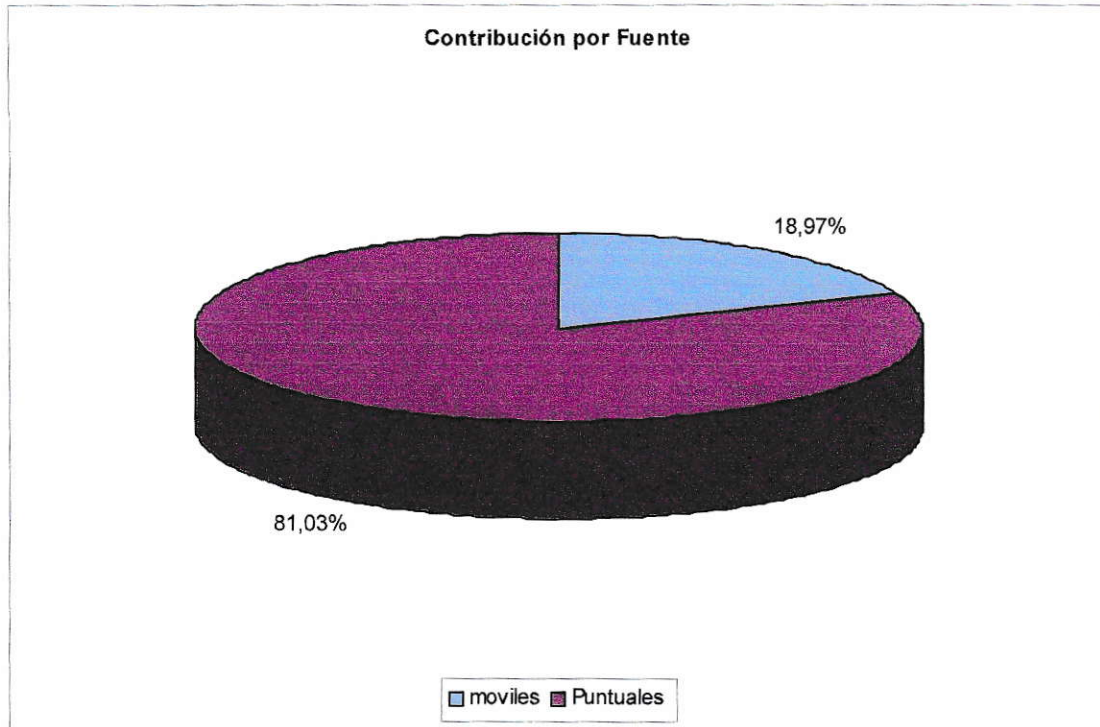


**ANEXO H**



Mayo - La Calera





Mayo – Hijuelas

