



**Universidad Tecnológica Nacional**  
**Facultad Regional Mendoza**  
**Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable**  
**Grupo de Estudios de la Atmósfera y el Ambiente**

**CEDS**  
**GEAA**

---

**TRANSPORTE Y CALIDAD DEL AIRE EN MENDOZA**  
**INFORME N° 3: Emisiones del transporte urbano de pasajeros**

*S Enrique Puliafito, Fernando Castro, David Allende*

[www.frm.utn.edu.ar/ceds](http://www.frm.utn.edu.ar/ceds)

*Agosto 2011*

---

## **Resumen**

En los informes anteriores se presentó un detalle metodológico y una estimación de las emisiones provenientes de la circulación vehicular en la ciudad de Mendoza. A partir de la información disponible se calculó el impacto en la calidad del aire mediante el uso de un programa numérico de dispersión atmosférica. Básicamente se usaron datos meteorológicos, topográficos y vehiculares disponibles al año 2005.

Estudios de simulación de calidad de aire para el Gran Mendoza pueden verse además en Puliafito et al., (2001, 2003, 2010); Puliafito y Allende, (2007), Allende et al, (2010), Gantuz et al, (2009). En éstas publicaciones se han incorporado actividades industriales, vehiculares, fuentes residenciales y comerciales, cuantificándose así, la contribución de las diversas fuentes a los problemas de calidad de aire para este centro urbano. Por otra parte el uso y discusión de nuevos modelos de predicción numérica más complejos para la estimación de la calidad del aire en zonas urbanas se describe en Puliafito et al, (2011), Fernández et al, (2010 a,b). Otras discusiones sobre la problemática ambiental del transporte y su impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero y el cambio global han sido discutidas por los autores de este informe y otros colaboradores en Puliafito et al, (2008); Pérez Gunella et al, (2009); Puliafito y Castesana, (2010).

Dado que en los artículos mencionados se discute ampliamente la metodología y la validez de los modelos planteados, se presentará en este informe sólo una actualización de los datos utilizados y las estimaciones del impacto de la calidad del aire realizadas a la luz del nuevo censo vehicular realizado en el año 2009-2010.

Se mencionará en cada caso las variaciones metodológicas o presunciones realizadas específicas para este estudio.

En los sub capítulos siguientes se presentará:

a) una descripción de la Información utilizada; b) la metodología empleada; c) una estimación de las emisiones proveniente de los vehículos, d) el cálculo de los niveles de contaminación ambiental; e) una calibración del modelo y f) una discusión de los resultados obtenidos.

## INDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>1. INFORMACIÓN UTILIZADA.....</b>	<b>4</b>
1.1 TOPOGRAFÍA Y METEOROLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	4
1.2 USOS DEL SUELO .....	6
1.3 TRAMA URBANA DE LA RED VIAL.....	7
1.4 MEDICIONES Y MODELO DE FLUJOS VEHICULARES .....	10
1.5 MONITOREO DE CONTAMINANTES.....	10
<b>2 CÁLCULO DE LAS EMISIONES VEHICULARES TOTALES PARA MENDOZA .....</b>	<b>12</b>
2.1 ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES MEDIANTE VENTA DE COMBUSTIBLES .....	13
2.2 ESTIMACIÓN TOP-DOWN USANDO COPERT .....	18
2.3 RESULTADOS DEL MODELO COPERT .....	22
<b>3 DETERMINACIÓN DE LAS EMISIONES CON EL ENFOQUE BOTTOM-UP .....</b>	<b>24</b>
<b>4 MODELOS DE CALIDAD DEL AIRE .....</b>	<b>30</b>
4.1 CÁLCULO DE LAS CONCENTRACIONES AMBIENTALES.....	30
4.2 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN.....	32
<b>5 DISCUSIÓN .....</b>	<b>39</b>
5.1 EL PROBLEMA DE LA MOVILIDAD Y LA MITIGACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN .....	39
<b>6 CONCLUSIONES .....</b>	<b>41</b>
<b>7 REFERENCIAS.....</b>	<b>42</b>

### Índice de Cuadros

<b>Cuadro 1: Definición de jerarquías viales.....</b>	<b>8</b>
<b>Cuadro 2: Venta de combustibles en la Provincia de Mendoza .....</b>	<b>13</b>
<b>Cuadro 3: Factores de emisión y conversión .....</b>	<b>13</b>
<b>Cuadro 4: Consumo de energía por quema de combustibles líquidos + GNC.....</b>	<b>13</b>
<b>Cuadro 5: Clasificación del parque vehicular .....</b>	<b>20</b>
<b>Cuadro 6: Número de vehículos y combustible utilizado .....</b>	<b>21</b>
<b>Cuadro 7: Kilómetros recorridos y velocidad media por tipo de calle. ....</b>	<b>21</b>
<b>Cuadro 8: Emisiones totales de contaminantes criterio.....</b>	<b>23</b>
<b>Cuadro 9: Especiación de NMVOC.....</b>	<b>23</b>
<b>Cuadro 10: Distancia recorrida por tipo de vehículos .....</b>	<b>24</b>
<b>Cuadro 11: Balance total de emisiones por método top-down y bottom-up.....</b>	<b>26</b>
<b>Cuadro 12: Valores guías de calidad del aire .....</b>	<b>35</b>

### Índice de Figuras

<b>Figura 1 Esquema conceptual de los modelos de calidad del aire .....</b>	<b>4</b>
<b>Figura 2: Ubicación y topografía del área en estudio .....</b>	<b>5</b>
<b>Figura 3: Mejoras en la descripción del modelo topográfico .....</b>	<b>6</b>
<b>Figura 4: Rosa de vientos detallando las frecuencias para el área de estudio. ....</b>	<b>7</b>
<b>Figura 5: Mejoras en la descripción del modelo de uso de suelos .....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 6 Jerarquías viales de Mendoza .....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 7: Nuevas Jerarquías viales.....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 8: Densidades de flujos vehiculares medios diarios (TDMA) .....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 9: Densidades de flujos vehiculares de la hora pico .....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 10: Densidades de flujos vehiculares medios diarios (TDMA) .....</b>	<b>12</b>

Figura 11 : Energía de el sector transporte y PBG/cápita .....	14
Figura 12: Consumo de energía TJ para el año 2000.....	15
Figura 13 : Consumo de energía en el sector transporte TJ.....	16
Figura 14: Emisiones CO <sub>2</sub> miles de tn/año y PBG del Gran Mendoza (millones de pesos de 1993).....	17
Figura 15: Emisiones NOx, CO e Hidrocarburos en toneladas por consumo de combustible del sector transporte para el Gran Mendoza.....	17
Figura 16: Indicadores principales de emisiones y consumo .....	18
Figura 17: Contribución de cada categoría a la emisión total .....	24
Figura 18: Distribución porcentual de las emisiones por tipo de calle .....	25
Figura 19: Variación horaria de los flujos vehiculares .....	27
Figura 20: Emisiones de monóxido de carbón g por hora pico .....	28
Figura 21: Emisiones de monóxido de carbono en kg/día.....	28
Figura 22: Emisiones de óxidos de nitrógeno en g pico / hora.....	29
Figura 23: Emisiones de óxidos de nitrógeno en kg/día.....	29
Figura 24. Resultados de la modelación para NOx .....	33
Figura 25: Resultados de la modelación para NOx .....	34
Figura 26: Frecuencia de ocurrencia NOx.....	35
Figura 27: Serie temporal de concentraciones .....	36
Figura 28: Variación horaria de CO.....	38
Figura 29: Variación horaria de NOx .....	38

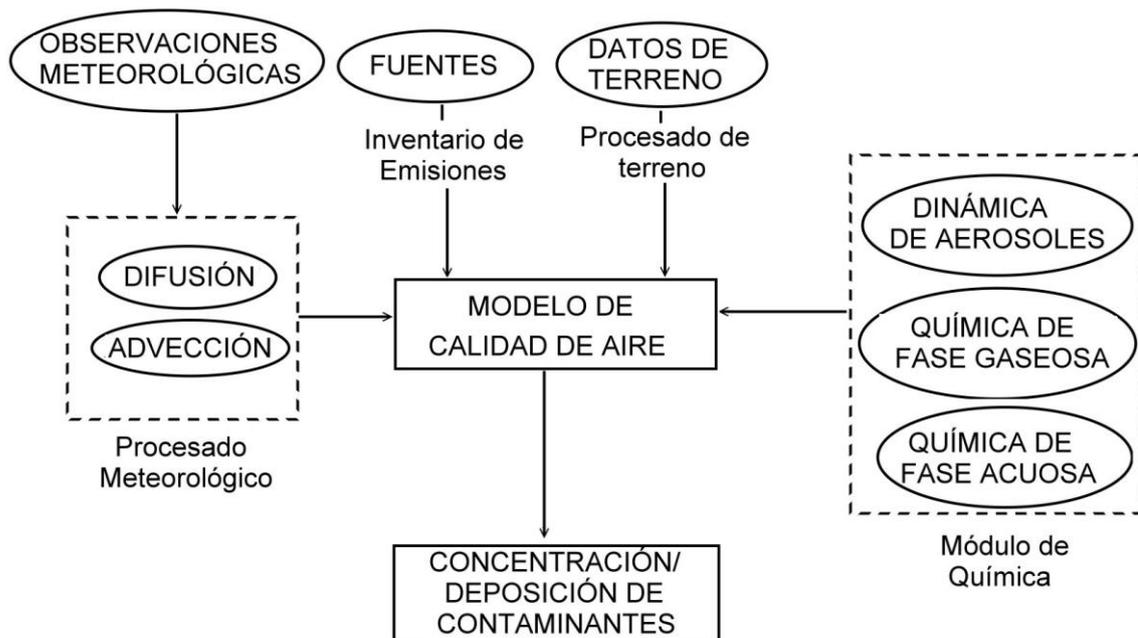
## 1. Información utilizada

La información básica para calcular la contaminación ambiental producida por las emisiones de fuentes móviles en la zona urbana de Mendoza se basa en los siguientes datos básicos;

1. Topográficos y meteorológicos
2. Tipo de uso del suelo
3. Trama urbana de la red vial
4. Flujos vehiculares
5. Monitoreo de contaminantes

La Figura 1 muestra un esquema conceptual de los modelos de calidad del aire y los datos necesarios como entrada para el cálculo de concentraciones de contaminantes

Figura 1 Esquema conceptual de los modelos de calidad del aire

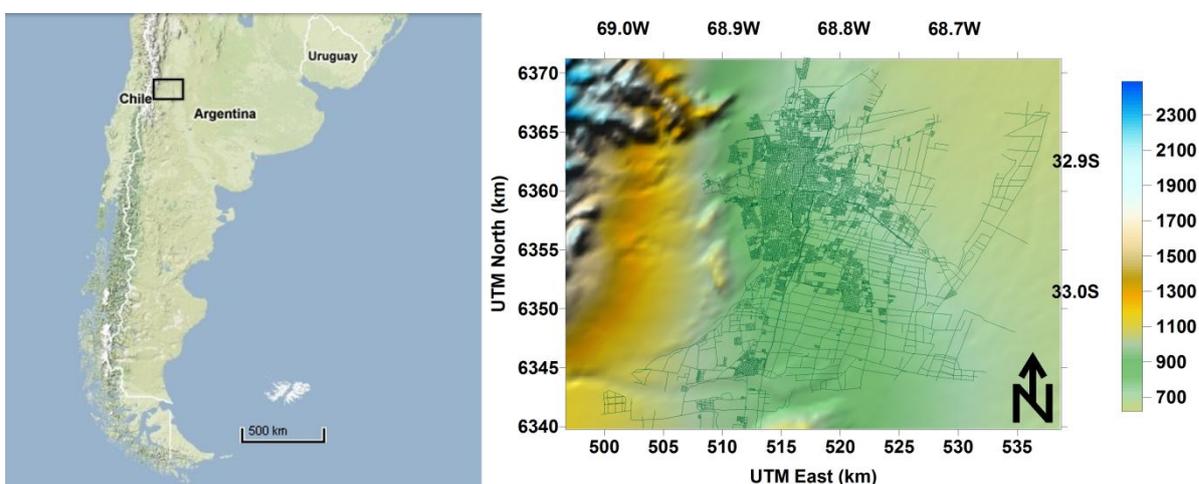


### 1.1 Topografía y meteorología del área de estudio

El Área de Estudio es el Área Metropolitana del Gran Mendoza, que incluye los departamentos de: Maipú, Luján, Guaymallén, Godoy Cruz, Capital y Las Heras. Este centro urbano (33°S, 68°W, s. l. de 750 m. a. N.) está ubicado al oeste de la República Argentina, en el piedemonte de la Cordillera de Los Andes, El Gran Mendoza se extiende de forma casi regular hacia el Nordeste, Este y Sur, mientras que las estribaciones de la Cordillera, impiden el crecimiento en las direcciones Norte y Oeste. Se trata de la cuarta aglomeración del país con 1.230.000 habitantes, siendo la más importante fuera de la Pampa Húmeda. Ninguna de estas localidades departamentales del Gran Mendoza es dominante en la composición

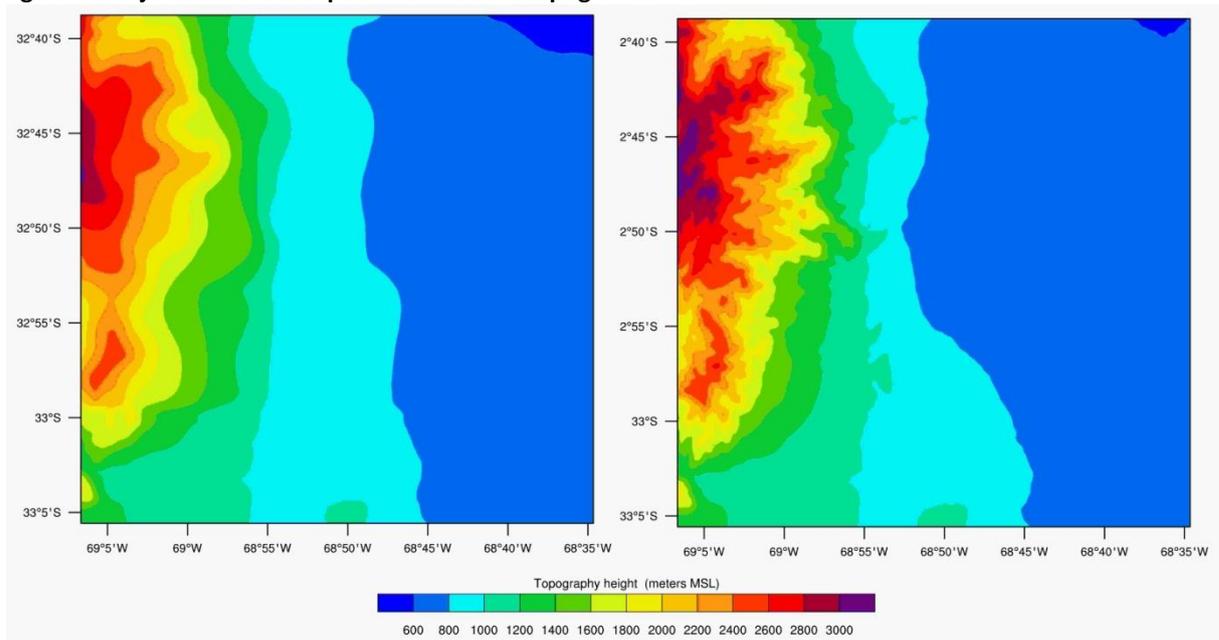
demográfica, ya que la población se distribuye uniformemente en toda el área. En la Figura 2 se muestra un esquema del área metropolitana bajo estudio. Esta zona tiene una extensión urbana aproximada de 370 kilómetros cuadrados y una densidad demográfica media urbana de 2800 hab/km<sup>2</sup>. La Provincia de Mendoza participa con el 4,5 % del PBI nacional, mientras que el área metropolitana alcanza los 2,5 %. La Ciudad se ubica en una zona árida a semiárida, de precipitaciones bajas, 120-400 mm anuales, principalmente en meses de verano. La cercanía de la Cordillera de Los Andes tiene una fuerte influencia en la meteorología y en la calidad de aire locales, debido a la circulación típica valle-montaña de variación diaria. La velocidad de viento media anual es alrededor de 1,9 m/s con un 26% de calmas. Las direcciones predominantes son S, S-SW, E-SE y E (Figura 4)) El área presenta baja humedad relativa (50%), baja incidencia de niebla y pocos días cubiertos (65-75 días /año).

**Figura 2: Ubicación y topografía del área en estudio**



Fuente: Elaboración propia, a partir de datos del United States Geological Survey (USGS) y del Global Land Cover Characterization (GLCC). El panel de la derecha incluye un acercamiento al área metropolitana del Gran Mendoza (32° 53' S, 68° 50' W) hacia el oeste de la República Argentina, detallando el trazado de calles y las elevaciones del terreno (m) en la escala a la derecha.

En el área bajo estudio es clave la influencia del terreno, con elevaciones de hasta 2800 metros (MSL) en la cercanía de la ciudad de Mendoza. En consecuencia, existen efectos significativos a consecuencia de la topografía, que incidirán posteriormente en el uso de modelos de dispersión. Para la descripción del terreno se han utilizado datos de elevación tipo SRTM3, producidos por United States Geological Survey (USGS). Los datos han sido proporcionados en archivos que cubren bloques de un grado por un grado de latitud y longitud. Un grado de datos consiste en una matriz de 1201 por 1201 elevaciones referenciadas en el Sistema de Coordenadas Geográficas (latitud/longitud) del World Geodetic System 1972 Datum. Las elevaciones están dadas en metros MSL y el espaciado a lo largo de cada perfil es de 3 segundos de arco, lo que corresponde aproximadamente a 90 metros. El dominio de modelado corresponde a un área de 40 km por 45 km principalmente sobre el área del Gran Mendoza, incluyendo el terreno desde los 68.7° O de longitud hasta 69° O y latitudes entre 32.7° S y 33.1° S. La Figura 3 muestra las mejoras introducidas en el modelo topográfico.

**Figura 3: Mejoras en la descripción del modelo topográfico**

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos del United States Geological Survey (USGS) y del Global Land Cover Characterization (GLCC). El área descrita se enmarca en  $32^{\circ} 38' - 33^{\circ} 68' S$  y  $69^{\circ}34' - 68^{\circ}34'W$ ). Las elevaciones del terreno está en metros variando de 600 a 3200 m de altura sobre le nivel del mar.

Como entrada de datos meteorológicos se usaron los provistos por el Servicio Meteorológico Nacional para un año completo (2009) consistente en 8760 horas de datos superficiales del Aeropuerto del Plumerillo que incluye temperatura, presión humedad, intensidad y dirección del viento. Para calibración del modelo también se usaron radiosondeos (perfiles verticales en altura de temperatura, presión atmosférica y humedad). La Figura 4 muestra una rosa de vientos de intensidad y frecuencia, para el año 2009 en Plumerillo, sobre la base de datos horarios.

## 1.2 Usos del suelo

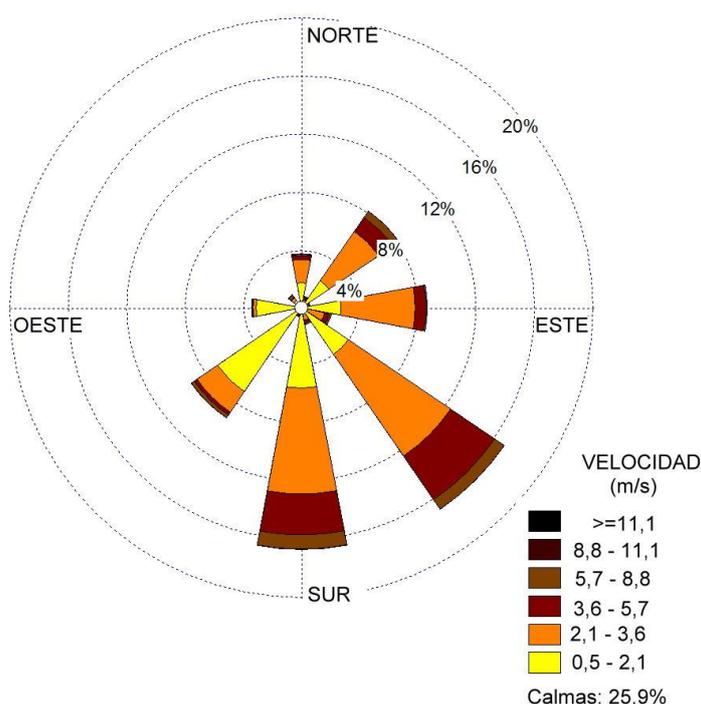
Los datos estáticos de tipo y usos de suelo (LULC, *Land Use Land Cover*) se adaptaron de mapas y Atlas desarrollados por distintas instituciones (Dirección de Ordenamiento Territorial de Mendoza (DOADU), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Universidades Nacionales, etc.; Cruzate et al., 2007; DOADU, 2010). Los datos han sido obtenidos a partir de la Global Land Cover Characterization (GLCC) Database, en un formato con una resolución de 1 km aproximadamente (30 segundos de arco), procesados luego para obtener campos grillados de 1.05 km de resolución. Los campos presentes en los distintos mapas fueron unificados utilizando un Sistema de Información Geográfica (GIS), asignándoles a cada sector una de las 38 categorías de uso de suelo definidas en el *standard* USGS (*United States Geological Survey*; en Wang et al., 2009). En la Figura 5 se aprecia cómo esta asignación no sólo permitió caracterizar con mayor precisión tanto la región urbana como la sub-urbana para Mendoza, sino también incrementar la extensión del dominio espacial caracterizado. La nueva configuración sigue usando los datos globales para las regiones en las cuales no fueron implementados los nuevos mapas de usos de suelo.

### 1.3 Trama urbana de la red vial

En el informe anterior presentamos una trama vial especificada por 3 jerarquías viales: primarias, secundarias y terciarias. El Cuadro 1 muestra la definición y la Figura 6 muestra su distribución en la trama vial de Mendoza organizados bajo un sistema de información geográfica (SIG).

En un sistema de información geográfica, cada segmento representa un tramo de una calle a la que se le asignan propiedades, tales como longitud del segmento, tipo de jerarquía, tipo y densidad de vehículos

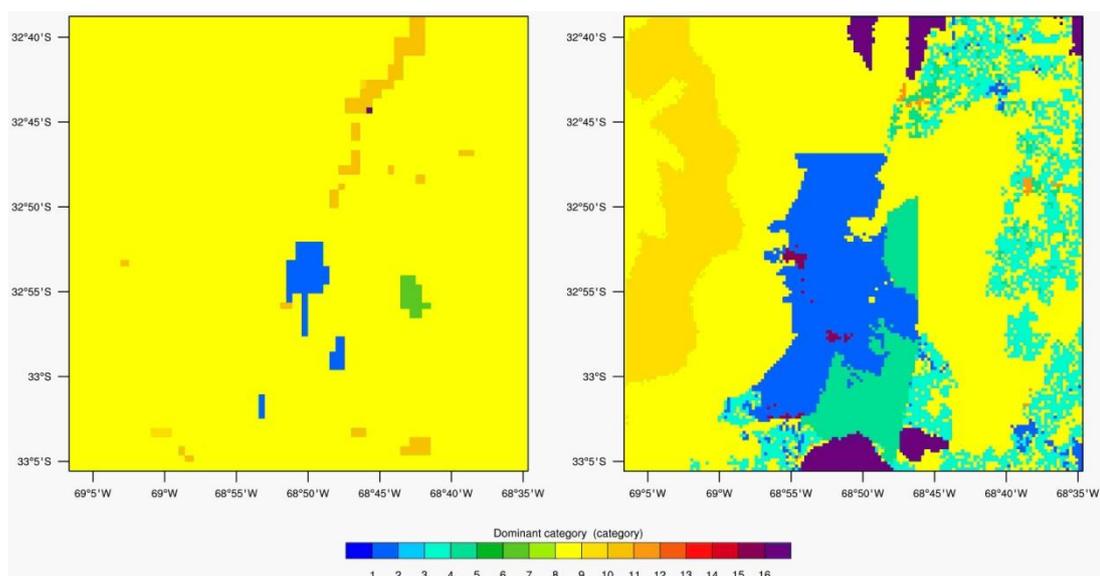
Figura 4: Rosa de vientos detallando las frecuencias para el área de estudio.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos horarios para el año 2009 del Servicio Meteorológico Nacional para el Aeropuerto El Plumerillo, Mendoza.

Las jerarquías se eligen según el tipo de uso de la vía, sus dimensiones y flujos promedios, de acuerdo a la siguiente descripción:

- *Primarias*: Accesos y autopistas son calles que conectan los principales distritos que componen el área metropolitana, con alta imposición de tráfico, sin semáforos y con una velocidad media alta (70-100 km/h).
- *Secundarias*: son calles principales que conectan importantes sectores urbanos, con alta densidad vehicular, con semáforos regulando la mayor parte de las intersecciones y con una velocidad media baja (20-30 km/h).
- *Terciarias*: calles residenciales con baja densidad vehicular, muy pocos semáforos pero con presencia de limitadores de velocidad como badenes o lomos de burro y con una velocidad media baja (25-35 km/h).

**Figura 5: Mejoras en la descripción del modelo de uso de suelos**

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos del Global Land Cover Characterization (GLCC), mejorad con datos de la Dirección de Ordenamiento Territorial de Mendoza (DOADU), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), (Cruzate et al.,2007; DOADU, 2010).

**Cuadro 1: Definición de jerarquías viales**

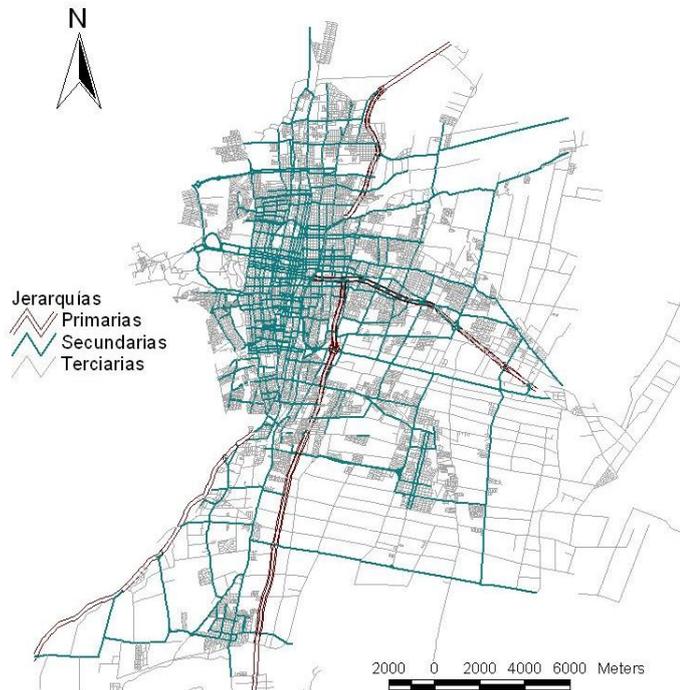
Tipo	Código	Descripción
Primarias	110	Accesos y Autopistas
	120	Avenidas inter-jurisdiccionales
	130	Avenidas principales
Secundarias	210	Calles de tramos largos
	220	Calles de tramos cortos
Terciarias	310	Calles residenciales
	320	Pasajes

En esta actualización de la estimación de las emisiones se utilizó la información de la red vial provista por AUTAM. Esta red es una versión simplificada de la anterior y es utilizada por el macro modelo de tránsito ESTRAUSS a los fines de simular el comportamiento del sistema de multimodal de transporte del Gran Mendoza.

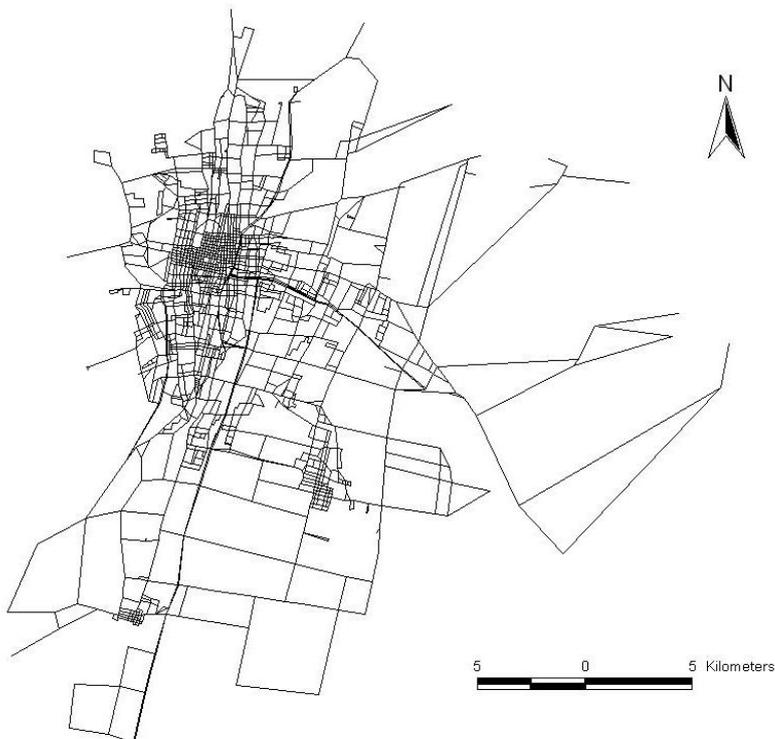
La simplificación de la red se puede observar claramente comparando la densidad de calles que se presenta en la Figura 6 y la Figura 7. En la red utilizada por ESTRAUSS se han obviado una enorme cantidad de calles terciarias, ubicadas principalmente en las periferias de la ciudad, a los fines de simplificar la modelación. Por otro lado, la clasificación de calles utilizada en la simulación difiere de la utilizada en el informe previo.

Las calles están divididas en 6 categorías:

1. Calles céntricas con transporte público
2. Calles céntricas sin transporte público
3. Troncales
4. Calles de barrio
5. Corredores (calles de gran capacidad con semáforos, ej. Corredor del Oeste)
6. Accesos

**Figura 6 Jerarquías viales de Mendoza**

Fuente: Elaboración propia, usando un sistema de información geográfico.

**Figura 7: Nuevas Jerarquías viales**

Fuente: Elaboración propia, usando un sistema de información geográfico, a partir de datos modelos de tránsito y conteos

## **1.4 Mediciones y Modelo de Flujos vehiculares**

En el informe anterior los flujos vehiculares totales fueron estimados indirectamente para cada categoría de calle a partir de los kilómetros anuales recorridos por el parque vehicular y la encuesta OD realizada en Gran Mendoza durante el 2005. Los valores obtenidos se calibraron con mediciones realizadas en algunos segmentos de la red. Sin embargo, al haberse utilizado una metodología top-down en el cálculo de las emisiones, los flujos fueron solo estimados aproximadamente a fin de distribuir espacialmente las emisiones.

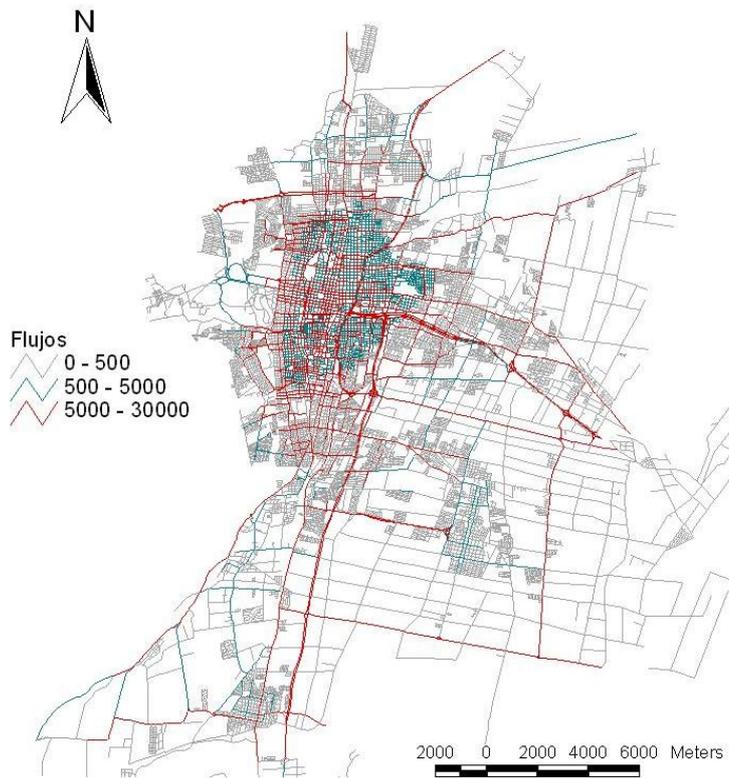
En este nuevo informe, la metodología de estimación de las emisiones se modificó a fin de aprovechar las salidas de la modelación de tránsito realizada por AUTAM con el modelo ESTRAUSS a partir de la encuesta OD del año 2010. Con el modelo se obtuvieron los flujos para la hora pico (8-9 am) en cada segmento de calle y se calibraron con mediciones realizadas en distintos puntos de la ciudad. A partir de estas mediciones se pudo realizar también la expansión temporal de dichos flujos, es decir, que el valor de flujo modelado para la hora pico y la distribución media del flujo a lo largo de un día se obtuvieron los valores de flujo horarios para un día laboral (Figura 8).

Si se comparan la Figura 8 con la Figura 10 se puede observar claramente que los flujos de las principales calles de la ciudad (primarias, accesos, céntricas) presentan valores de flujo similares. Sin embargo, se presenta una enorme diferencia para calles periféricas, de barrio, ya que la gran mayoría de estas no han sido representadas en la modelación y por lo tanto sus flujos han sido despreciados

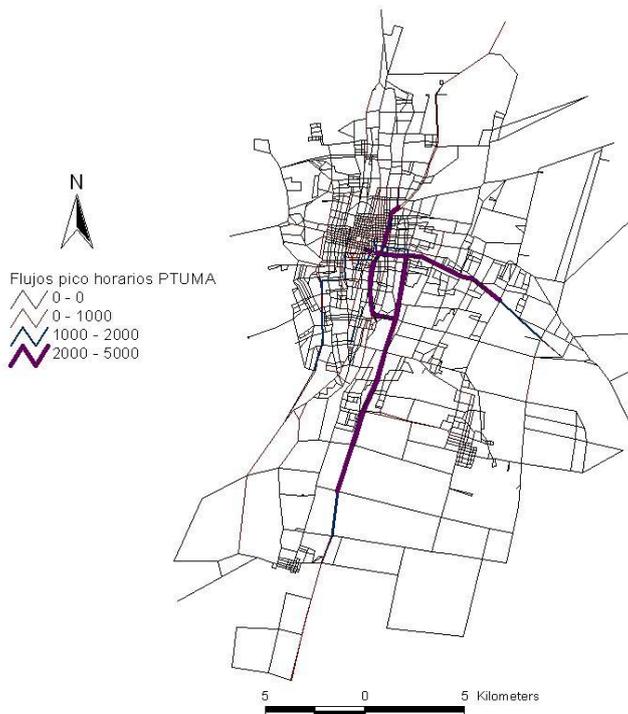
## **1.5 Monitoreo de contaminantes.**

A fin de comparar la posterior salida de los modelos de dispersión (Figura 1), se utilizarán datos de monitoreo de contaminantes que realiza la Dirección de control Ambiental, disponibles en el año 2009, coincidentes con los datos meteorológicos utilizados y la actualización vehicular. Se dispone de 1 mes (junio 2009) de datos horarios de material particulado PM10 y óxidos de nitrógeno (NOx) de la estación de monitoreo automático ubicados en la calle Virgen del Carmen (en las inmediaciones del Instituto Nacional de Vitivinicultura –INV) casi esquina San Martín.

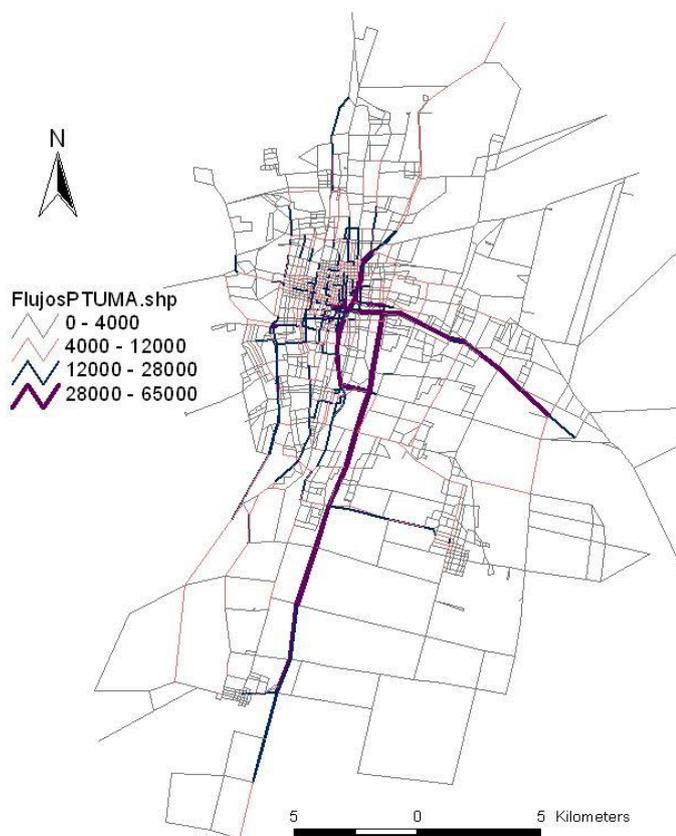
En el informe anterior ya se presentó un estudio histórico y datos estadísticos de calidad del aire para la ciudad de Mendoza.

**Figura 8: Densidades de flujos vehiculares medios diarios (TDMA)**

Fuente: Elaboración propia, usando un sistema de información geográfico.

**Figura 9: Densidades de flujos vehiculares de la hora pico**

Fuente: Elaboración propia, a partir de los datos modelos de tránsito

**Figura 10: Densidades de flujos vehiculares medios diarios (TDMA)**

Fuente: Elaboración propia, usando un sistema de información geográfico, a partir de datos del valor pico y la tasa de actividad horaria).

## 2 Cálculo de las emisiones vehiculares totales para Mendoza

Las emisiones vehiculares totales pueden calcularse por medio de dos enfoques, un primer cálculo se usa la venta total de combustibles realizados en la provincia de Mendoza. Luego usando factores de emisión apropiados ( $\text{g/TJ}$ ; o  $\text{g/m}^3$  de combustible), suponiendo una quema total de estos combustibles, se estiman la energía total consumida y a partir de esta se calcula las emisiones de contaminantes y gases de efecto invernadero. Este primer enfoque es el que sugiere el IPCC (Panel Internacional sobre Cambio Climático).

En un segundo enfoque general se usa una clasificación del parque automotor, se estima el kilometraje recorrido por cada tipo de vehículo. Luego usando factores de emisión ( $\text{g/km}$ ) se calcula las emisiones totales de contaminantes por tipo de vehículos. Para este cálculo usamos el modelo COPERT III.

A ambos enfoques se los denomina “top-down”,

## 2.1 Estimación de las emisiones mediante venta de combustibles

A partir de un balance de combustible es posible calcular el consumo de energía secundaria, y a partir de allí determinar en forma general las emisiones por quema de combustibles para el sector de transporte. Esto además nos permite relacionar el consumo con un grupo de otras variables como población y producto bruto geográfico, A fin de analizar los resultados obtenidos, se presentan algunos indicadores locales del sector transporte para la zona del Gran Mendoza.

El Cuadro 2 muestra la venta de combustibles en la Provincia de Mendoza .El consumo en el Gran Mendoza se estima en un 68% de las ventas provinciales, proporcional al consumo energético y participación del PBG,

**Cuadro 2: Venta de combustibles en la Provincia de Mendoza**

Tipo	Unidades / año	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
GNC	mill m3	122	141	141	212	215	210	201	196	189
Gas-Oil	m3	409197	408965	425579	505662	601749	671631	706370	723068	704632
Nafta Común	m3	47333	41757	29889	23360	17755	12940	9584	9602	3017
Nafta Especial	m3	86478	69319	60932	66051	73426	84466	107315	135638	5410
Nafta ultra	m3	12642	8841	11797	17848	28771	46195	54909	46800	153408

Fuente: Secretaría de Energía de la Nación.

**Cuadro 3: Factores de emisión y conversión**

Factores de Conversión	Naftas	Gasoil	GNC
de	m3	m3	1000 m3
a TJ	0.0318	0.0361	0.0389
de TJ a Tn CO	7.3300	0.5100	0.7230
de TJ a Tn HC	1.1400	0.0439	0.0013
de TJ a Tn NOX	0.3900	0.7160	0.1980
de TJ a miles Tn CO2	0.0693	0.0733	0.0537

Fuente IPCC, 1996

**Cuadro 4: Consumo de energía por quema de combustibles líquidos + GNC**

Energía TJ / Año	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Tipo	4738	5475	5475	8268	8365	8173	7833	7649	7353
GNC	14763	14755	15355	18244	21711	24232	25485	26088	25423
Gas-Oil	1507	1330	952	744	565	412	305	306	96
Nafta Común	2754	2207	1940	2103	2338	2690	3417	4319	172
Nafta Especial	403	282	376	568	916	1471	1748	1490	4885
Nafta ultra	24165	24049	24097	29927	33895	36978	38789	39851	37928

Fuente: Elaboración propia

La Figura 11 muestra la evolución del consumo de energía del sector transporte (TJ) calculado a partir del consumo de combustibles, comparado con el producto bruto geográfico del Gran Mendoza per cápita (miles de \$ nivel constante de 1993 por hab). Las

siguientes Figura 12 y Figura 13 muestran la partición sectorial para el año 2000, donde el sector transporte contribuye con aproximadamente el 30% del consumo energético

En la evolución del consumo de combustibles entre el año 2000 al año 2009 se aprecia una disminución de las naftas comunes en reemplazo de las naftas especiales y ultra. El Gas-oil sufrió un incremento relativo del 59% (9300 TJ; 370 mil m<sup>3</sup>) en el año 2000 al 63% (15000 TJ; 600 mil m<sup>3</sup>) en el año 2009. La Figura 14 muestra la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub> en miles de toneladas por año, producidas por el sector transporte, por el consumo de combustibles líquidos más GNC. Se aprecia la fuerte correlación con el producto bruto geográfico cápita (en millones de \$ nivel constante de 1993). Este valor es indicativo de la evolución de la economía regional y del consumo.

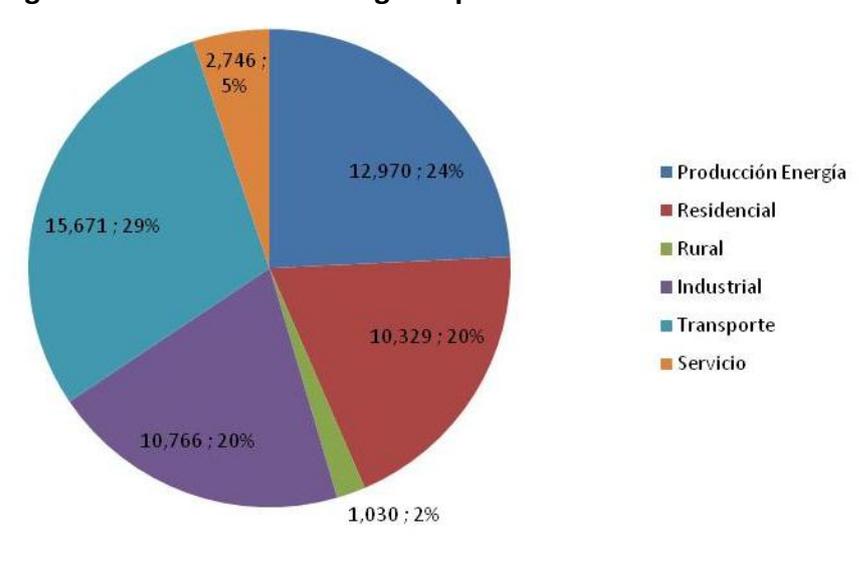
La

Figura 15 indica la evolución de las emisiones de contaminantes del sector transporte entre los años 1994 y 2009. Se aprecia el fuerte incremento a partir del año 2003 debido a un aumento en la venta de combustibles; lo que indica un aumento en la actividad vehicular en el Gran Mendoza. Las emisiones de monóxido de carbono son muy dependientes del consumo de las naftas. La crisis del año 2001, quedan marcadas en este gráfico.

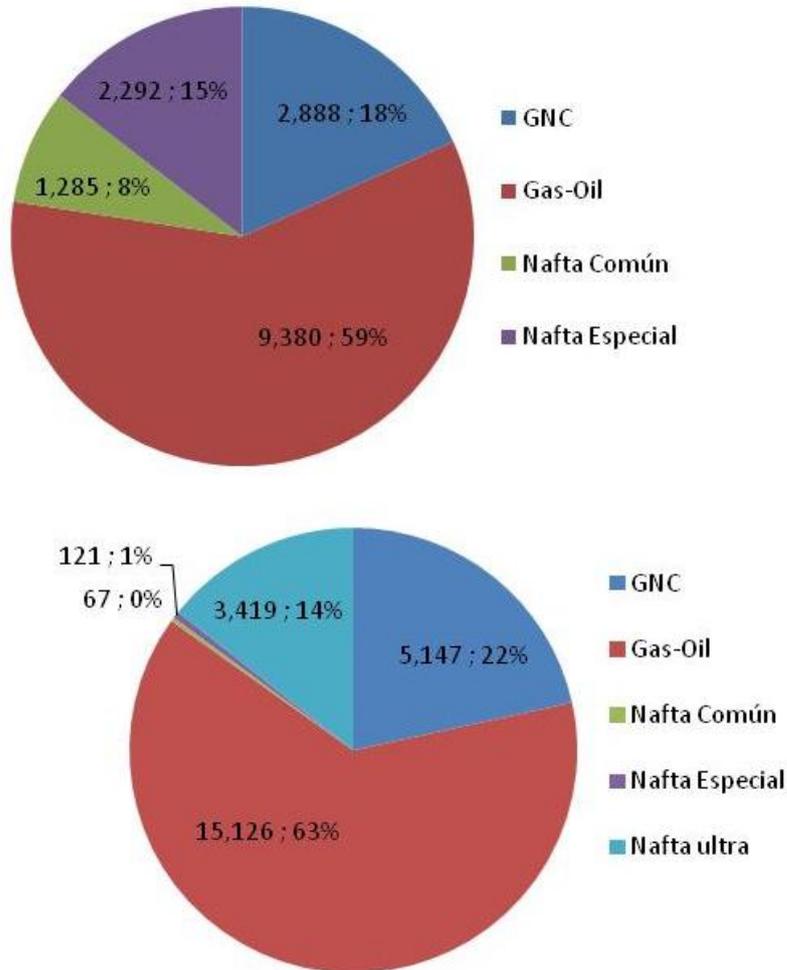
**Figura 11 : Energía del sector transporte y PBG/cápita**



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DEIE (Mendoza), Secretaría de Energía de la Nación.

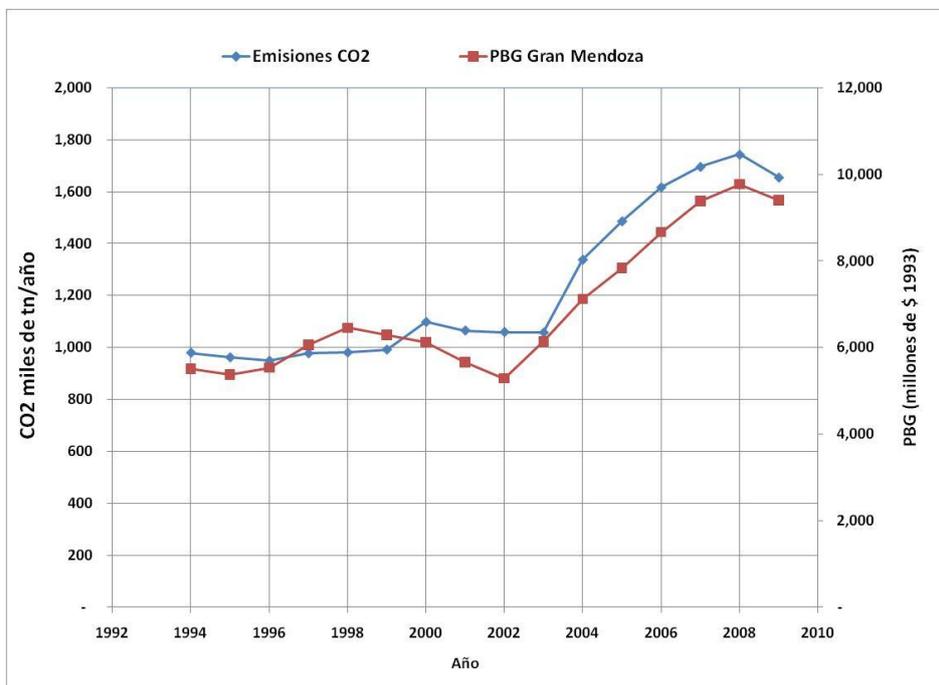
**Figura 12: Consumo de energía TJ para el año 2000**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DEIE (Mendoza), Secretaría de Energía de la Nación.

**Figura 13 : Consumo de energía en el sector transporte TJ****(arriba año 2000, abajo año 2009)**

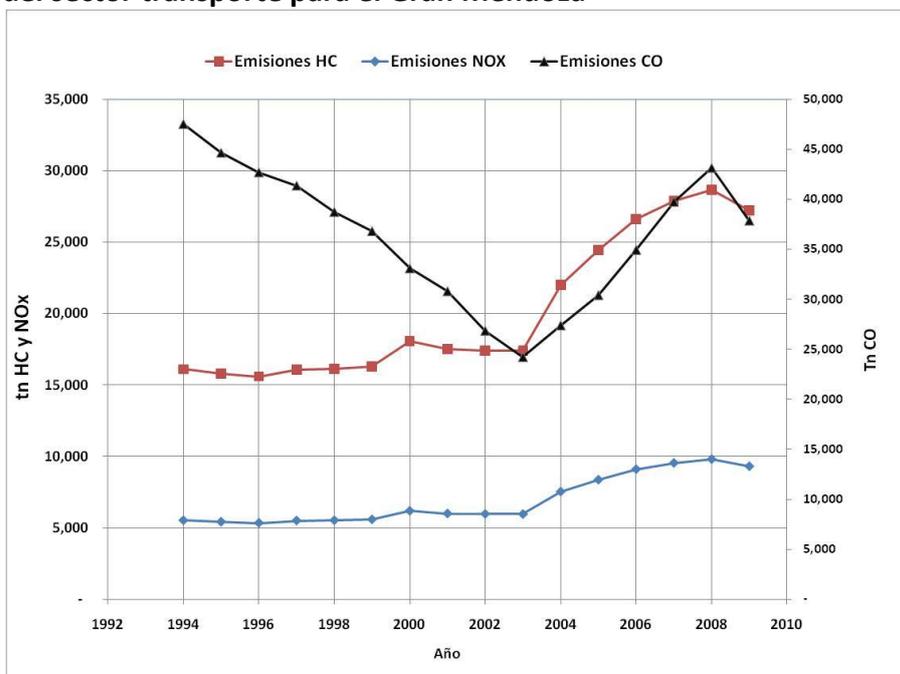
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DEIE (Mendoza), Secretaría de Energía de la Nación

**Figura 14: Emisiones CO<sub>2</sub> miles de tn/año y PBG del Gran Mendoza (millones de pesos de 1993)**

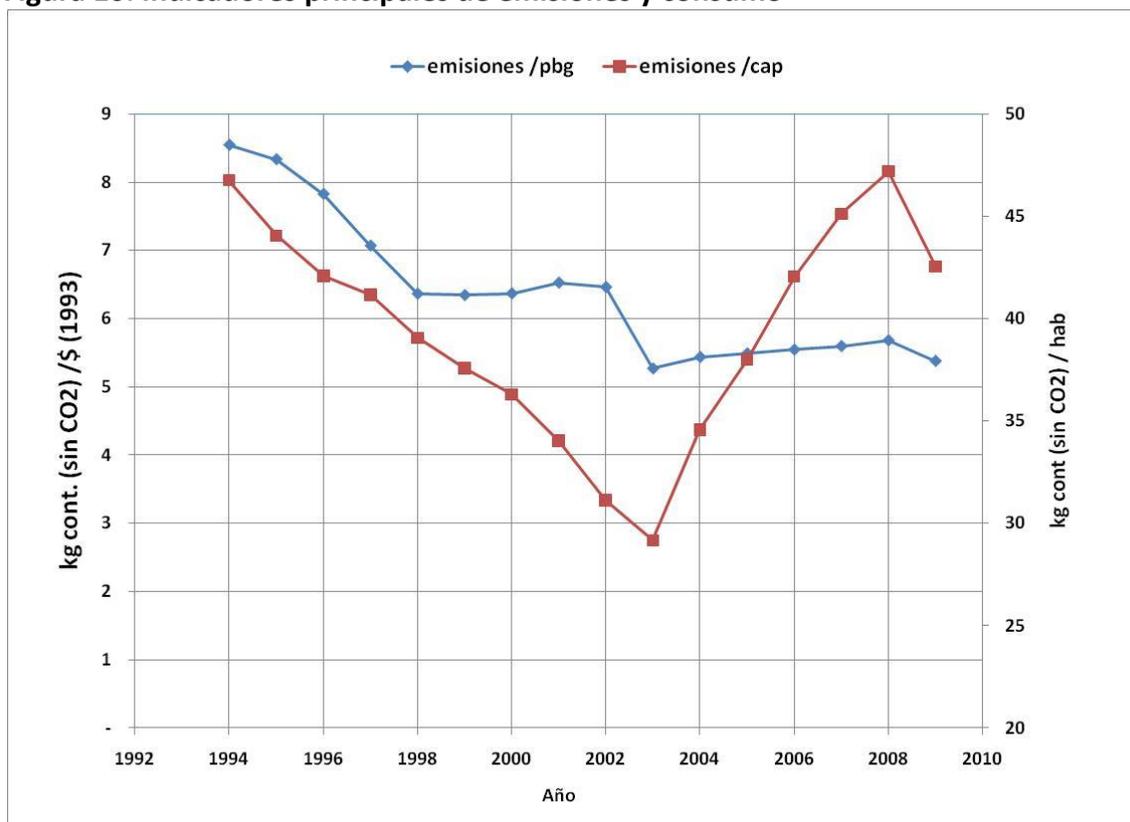


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DEIE (Mendoza), Secretaría de Energía de la Nación

**Figura 15: Emisiones NO<sub>x</sub>, CO e Hidrocarburos en toneladas por consumo de combustible del sector transporte para el Gran Mendoza**



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DEIE (Mendoza), Secretaría de Energía de la Nación.

**Figura 16: Indicadores principales de emisiones y consumo**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DEIE (Mendoza), Secretaría de Energía de la Nación.

A fin de evaluar la evolución en el consumo y emisiones, la Figura 16 presenta dos indicadores claves: las emisiones de (CO+HC+NOx) en función del producto bruto geográfico, y las emisiones per cápita. El primer indicador nos muestra la eficiencia del sector, y el segundo la actividad. El primer indicador nos dice que desde un punto de vista tecnológico ha habido una constante mejoría a partir del año 2005. Mientras que el segundo indicador nos dice que ha habido un fuerte incremento en el consumo per cápita a partir del año 2003. También es posible distinguir la grave crisis del año 2001. Esto significa que se debe hacer un fuerte esfuerzo tanto desde el punto de vista tecnológico y modal, y por el otro reducir los patrones de consumo de transporte sin afectar la movilidad.

## 2.2 Estimación top-down usando COPERT

El modelo COPERT III prevé la división del parque automotor en 91 clases dependiendo del tipo de combustible, categoría del vehículo (carga, pasajeros, transporte público, motos) y de las tecnologías asociadas a limitaciones legales de emisiones. La falta de información precisa y el atraso tecnológico respecto de los vehículos europeos hace que para la Argentina no se pueda considerar un rango tan amplio de clases. En este trabajo se ha asociado el parque automotor a solo 29 clases de las consideradas en COPERT y se han incorporado 4 más para los vehículos a GNC. En la clasificación se ha tenido en cuenta:

- la categoría del vehículo, peso y cilindrada. Esta información ha sido obtenida de distintas organizaciones (DNRPA, ADEFA, DEIE) y de relevamientos realizados en distintos estacionamientos de la ciudad.

- el tipo de combustible utilizado. Se han considerado los datos de la encuesta O-D para la determinación del combustible utilizado.
- el año de patentamiento para ser asociado a las restricciones legales de emisión vigentes en nuestro país para ese año. La Ley Nacional N° 24.449, (Decreto 779/95 y Resoluciones posteriores, 731/2005 y 35/2009) establecen los límites de emisión que los vehículos nuevos deben respetar. Estos límites están asociados al uso de determinadas tecnologías para poder ser alcanzados (ej. uso de convertidores catalíticos en los sistemas de escape de gases de combustión a partir de 1.998).

### 2.2.1 Tipos de emisión

La metodología del modelo COPERT permite determinar emisiones de tres tipos:

- escape en caliente: se producen durante la operación térmica estable del motor ( $E_{Hot}$ ),
- escape en frío: emisiones adicionales de escape producidas durante la fase de calentamiento del motor ( $E_{Cold}$ )
- evaporativas: producidas por la evaporación de nafta ( $E_{Evap}$ ).

De modo que la emisión total de un vehículo se estima como:

$$E_{Tot} = E_{Hot} + E_{Cold} + E_{Evap} \quad (1)$$

Donde  $E_{tot}$  es la emisión total para cada contaminante considerado. En el caso de vehículos a GNC solo se han considerado emisiones de escape en caliente ya que COPERT III no tiene en cuenta este tipo de combustible.

### 2.2.2 Emisiones de escape en caliente

Aunque estas emisiones dependen de una enorme serie de factores, COPERT asume que los factores de emisión son sólo dependientes de la velocidad media. La fórmula utilizada para calcular las emisiones anuales es:

$$E_{Hot;i,j,k} = N_j \times M_{j,k} \times e_{Hot;i,j,k} \quad (2)$$

Donde:

$E_{Hot}$ : emisión del contaminante  $i$  en [g] producida por los vehículos clase  $j$  manejados en calles tipo  $k$ .

$N_j$ : número de vehículos [veh] de clase  $j$

$M_{j,k}$ : kilometraje por vehículo [km/veh] manejado en calles tipo  $k$  por vehículos de clase  $j$

$e_{Hot;i,j,k}$ : factor de emisión promedio [g/km] para el contaminante  $i$ , relevante para vehículos de clase  $j$ , manejado en calles tipo  $k$ .

Aquí vale aclarar que además de la clasificación de los vehículos se hace una distinción entre tres tipos de calles (subíndice  $k$ ), urbanas (U), rurales (R) y autopista (H) que se distinguen por sus velocidades medias. En Gran Mendoza solo una pequeña fracción de los kilómetros recorridos se hace en calles rurales ya que como dijimos es una zona predominantemente urbana. Para los vehículos propulsados a GNC se sigue el mismo cálculo solo que el factor de emisión no es dependiente de la velocidad media, es un valor medio de emisión.

### 2.2.3 Cantidad de vehículos

El Cuadro 6 presenta el número total de vehículos por categoría. El número de vehículos de cada clase  $N_j$  se obtuvo distribuyendo ese total en cada una de las 33 clases descriptas en el Cuadro 5. En el Cuadro 7 se presenta un resumen con los kilometrajes de cada categoría y la proporción recorrida en cada tipo de calle  $k$ .

**Cuadro 5: Clasificación del parque vehicular**

Categoría	Comb	Modelo-Tec. Asociada <sup>1</sup>	Otro
Pasajero liviano	Nafta	Pre 1998-Conv 1999-2003-Euro1 Post 2004-Euro2	3 categorías por modelo según cilindrada
	GNC	Pre 1996- Post 1996-	
	Gasoil	Pre 1998-Conv 1999-2003-Euro1 Post 2004-Euro2	2 categorías por modelo según cilindrada
Carga Liviano	Nafta	Pre 1998-Conv 1999-2003-Euro1 Post 2004-Euro2	
	GNC	Pre 1996- Post 1996-	
	Gasoil	Pre 1998-Conv 1999-2003-Euro1 Post 2004-Euro2	
Carga Pesados	Gasoil	Pre 1995-Conv 1996-1999-Euro1 Post 2000-Euro2	2 categorías por modelo según peso
Buses	Gasoil	Pre 1998-Conv Post 1998-Euro2	

Fuente: Elaboración propia para usar en Modelo COPERT III. <sup>1</sup> Modelo-Tecnología asociada: se refiere a las tecnologías asociadas al límite de emisión para los modelos de esos años. <sup>2</sup> Conv.: convencional, es decir, sin ninguna tecnología de reducción de emisiones.

### 2.2.4 Kilometraje

El kilometraje total anual de los vehículos livianos de pasajeros se obtuvo suponiendo una distancia promedio entre origen y destino de los distintos departamentos del Gran Mendoza y se multiplicó por el número de viajes para el mismo O-D. La suma de esos cálculos repartida proporcionalmente al número de vehículos de cada categoría y tipo de calle dio como resultado un valor estimado de  $M_{j,k}$ .

**Cuadro 6: Número de vehículos y combustible utilizado**

Categoría	Cantidad de vehículos	Porcentaje según combustible utilizado		
		N	GNC	GO
Pasajero liviano	242.544	35	38	27
Carga liviano (LDV)	66.152	10	25	65
Carga pesado (HDV)	24.038	-	-	100
Buses	980	-	-	100

Fuente: Dirección Nacional del Registro de la Propiedad del Automotor (DNRPA), 2005. DEIE, Estudio de patrones de movilidad, 2005. N: Nafta, GN: Gas Natural Comprimido. GO: Gasoil.

El kilometraje anual de los buses se estimó a partir de multiplicar la longitud de la red estática por la frecuencia anual de viajes y dividirla por el número de buses. Para el transporte de cargas, tanto livianas como pesadas, se asumió un valor de acuerdo a experiencias de otros inventarios de fuentes móviles. En el kilometraje anual se incluye un porcentaje adicional debido a la gran circulación de camiones dentro del Gran Mendoza que no están registrados en la provincia. El kilometraje anual total de estos vehículos se obtiene al multiplicar el número de camiones registrados por el kilometraje medio anual.

**Cuadro 7: Kilómetros recorridos y velocidad media por tipo de calle.**

Categoría	Km por veh	Tipo de calle	Porc. [%]	Vel. Media [km/h]
Pasajero liviano	8.500	U	70	29
		R	10	60
		H	20	85
Carga liviano	15.000	U	65	25
		R	15	55
		H	20	80
Carga pesado	35.000	U	40	20
		R	20	50
		H	40	70
Buses	74.000	U	70	15
		R	10	50
		H	20	70

Fuente: Elaboración propia en base al modelo COPERT. U: calles urbanas, R: calles rurales, H: autopistas y accesos.

### 2.2.5 Velocidad Media

La velocidad media de los vehículos de cada categoría fue calculada a partir de las velocidades medidas con un automóvil equipado con un navegador satelital durante recorridos en cada tipo de calle k. El Cuadro 7 presenta los valores de velocidad media utilizados en el cálculo de los factores de emisión.

### 2.2.6 Emisiones de escape en frío

Estas emisiones se calculan como un extra de las emisiones que se producirían con el motor y el convertidor catalítico calientes. Las emisiones en frío anuales son calculadas con la siguiente fórmula:

$$E_{Cold;i,j} = E_{Hot;i,j} \times \beta_{i,j} \times (e^{Cold}_{i,j}/e^{Hot}_{i,j} - 1) \quad (3)$$

Donde:

- $E_{Cold;i,j}$ : emisión en frío del contaminante  $i$  causada por los vehículos de clase  $j$
- $E_{Hot;i,j}$ : emisión en caliente del contaminante  $i$  causada por los vehículos de clase  $j$
- $\beta_{i,j}$ : fracción del kilometraje recorrida con el motor frío y convertidor catalítico con temperatura menor a la de encendido
- $e^{Cold}_{i,j}/e^{Hot}_{i,j}$ : razón de emisiones frías sobre calientes para el contaminante  $i$  y la clase  $j$

El parámetro  $\beta_{i,j}$  depende de la temperatura ambiente  $t_a$  y de la longitud media de viaje  $L_{Trip}$ . Las temperaturas medias mensuales para el año 2005 fueron calculadas e introducidas como dato en el modelo para el cálculo de  $\beta$

La longitud media de viaje se estimó a partir de los datos de la encuesta O-D y dio como resultado aproximadamente 12 km por viaje.

### 2.2.7 Emisiones evaporativas

Las emisiones de evaporación son estimadas sólo para vehículos que utilizan nafta. Los tipos de emisión considerados son tres:

- Diurnas: asociadas con las variaciones diarias de la temperatura ambiente
- Hot-soak: causadas cuando el motor caliente es apagado
- Running losses: son el resultado del vapor generado durante la operación del vehículo.

Las presiones de vapor Reid (RVP) de las naftas y las temperaturas ambiente máximas y mínimas para los distintos meses del año fueron introducidas en el modelo para calcular estas emisiones. Las emisiones evaporativas son exclusivamente de compuestos orgánicos volátiles.

## 2.3 Resultados del modelo COPERT

Se presentan las emisiones que presentan mayor influencia en la calidad del aire de la ciudad y que corresponden a las de los denominados contaminantes criterio. Estos contaminantes son:

- CO: monóxido de carbono,
- NOx: óxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub> y NO)
- PM10: material particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 µm,
- SO<sub>2</sub>: dióxido de azufre,
- NMVOC: compuestos orgánicos no metánicos.

El Cuadro 8 presenta del balance de las emisiones para cada contaminante criterio. La contribución de cada categoría a las emisiones totales se muestra en la

Figura 17. Un resultado interesante es el de conocer en qué proporción influye el tipo de calle en las emisiones. La Figura 18 muestra que la mayor parte de las emisiones pertenecen a calles de tipo urbano.

**Cuadro 8: Emisiones totales de contaminantes criterio**

Contaminante	E <sub>vap</sub>	E <sub>cold</sub>	E <sub>Hot</sub>	E <sub>Tot</sub>
	ton	ton	ton	ton
CO	0	9.550	34.651	44.201
NO <sub>x</sub>	0	68	12.520	12.588
PM10	0	30	992	1.022
SO <sub>2</sub>	0	30	1.566	1.596
NM <sub>VOC</sub>	557	1.197	8.299	10.053

Fuente: Elaboración propia a partir de la salida del modelo COPERT.

El modelo COPERT permite además realizar una especiación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles. En el Cuadro 9 se presentan las emisiones de los compuestos considerados más importantes por sus potenciales efectos a la salud y su participación en la formación de ozono troposférico. Se puede observar como los vehículos de carga contribuyen de manera preponderante al total de las emisiones. En la

Figura 17 se aprecia que el transporte de carga es el principal responsable de las emisiones de PM10, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> aún cuando la cantidad de vehículos en esa categoría solo representa un 7 % del total. El motivo de esto tiene que ver con los factores de emisión entre 5 y 10 veces mayores para los vehículos pesados que para el resto. Con respecto a la partición entre emisiones urbanas y rurales, en un área predominantemente urbana como el Gran Mendoza era de esperarse una contribución casi exclusiva de las calles de tipo urbana a las emisiones como se muestra en la Figura 18

**Cuadro 9: Especiación de NMVOC**

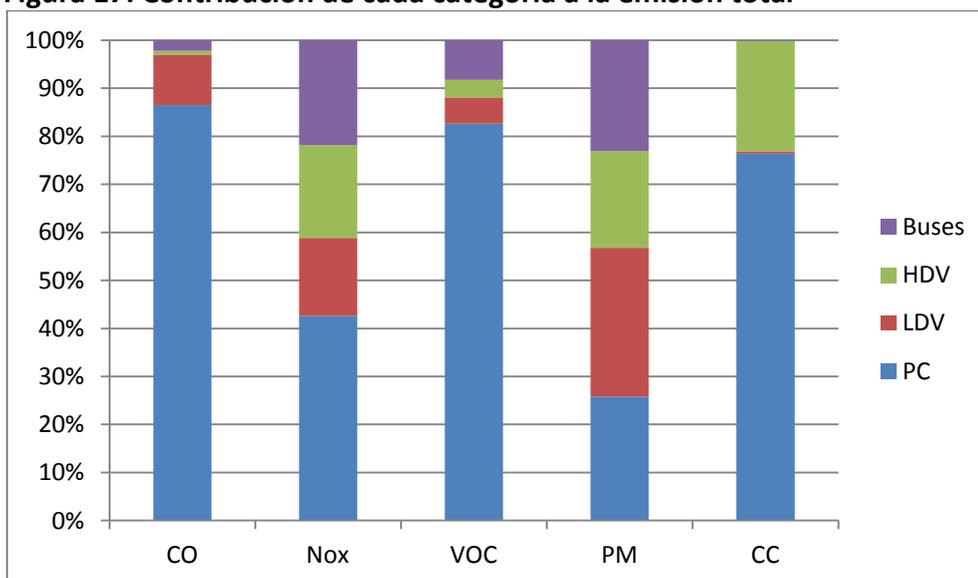
Contaminante	E <sub>Hot</sub>	E <sub>cold</sub>	E <sub>vap</sub>	E <sub>Tot</sub>
	ton	ton	ton	ton
1,3-butadieno	116	16	0	133
formaldehído	248	28	0	276
tolueno	588	147	6	741
etilbenceno	217	52	0	269
xilenos	320	76	3	800
benceno	317	78	6	401

Fuente: Elaboración propia a partir de la salida del modelo COPERT.

**Cuadro 10: Distancia recorrida por tipo de vehículos**

	Top-down	Bottom-up	Diferencia	Dif %
	Km recorridos	Modelo		
PC	2,39E+009	2,05E+009	3,43E+008	16,75791
LDV	9,92E+008	6,93E+008	2,99E+008	43,18615
HDV	8,41E+008	1,05E+008	7,36E+008	701,3333
Buses	7,25E+007	2,52E+008	-1,79E+008	-71,2222

Fuente: Elaboración propia a partir de la salida del modelo COPERT

**Figura 17: Contribución de cada categoría a la emisión total**

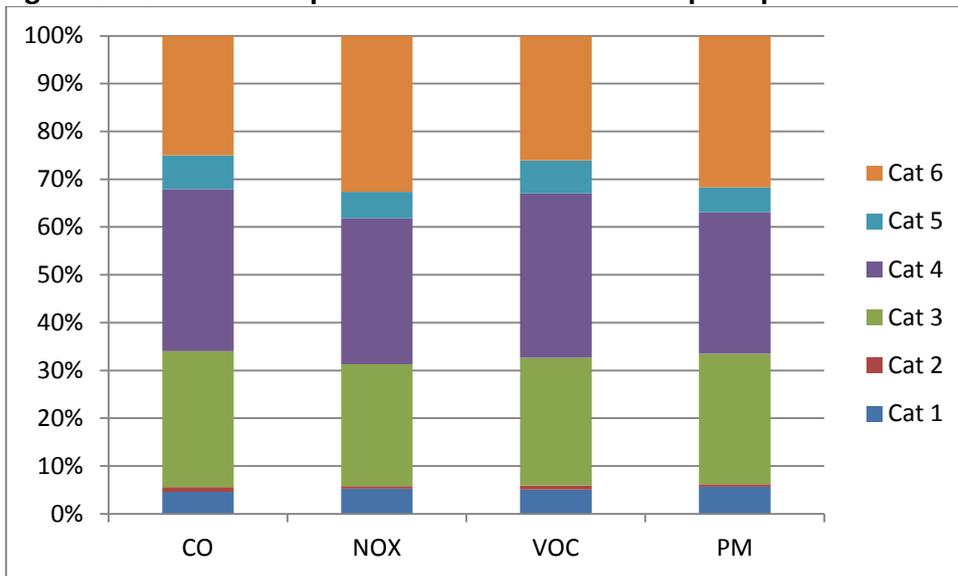
Fuente: Elaboración propia a partir de la salida del modelo COPERT.

### 3 Determinación de las emisiones con el enfoque bottom-up

En la sección anterior se presentó un balance de las emisiones del sector transporte siguiendo una metodología tipo top-down, las cuales son generalmente suficientes para estimar las emisiones promedio anuales. Sin embargo, si se requiere información más detallada se necesita realizar aproximaciones siguiendo un enfoque del tipo bottom-up, es decir a partir de determinar cantidad, frecuencia y tipo de vehículo en cada calle de la ciudad. Esto es especialmente necesario para las fuentes vehiculares debido a la alta variabilidad espacio-temporal de sus emisiones. Para caracterizar las emisiones vehiculares desde un enfoque bottom-up se utilizaron los datos arrojados por la modelación del tránsito vehicular del Gran Mendoza para un típico día laboral durante la hora pico (8-9 am) (Figura 19) Los principales datos obtenidos para en la modelación para cada segmento (o arco) de calle son: los flujos de transporte público y privado, la longitud, el tiempo de viaje y el tiempo de viaje a flujo libre. A partir de estos datos se puede calcular además la velocidad media con la que es recorrido el segmento.

Dado que no se contaba con un modelo de emisiones que permitiera adaptar de manera sencilla los datos de la modelación de tránsito, se realizó una adaptación de la metodología COPERT IV para poder realizar la estimación de las emisiones similar a la realizada por la Comisión Nacional de Medio Ambiente de Chile (CONAMA, 2009). Tanto la conformación del parque vehicular como la distribución del mismo en las categorías vehiculares previstas son idénticas a las utilizadas en el informe previo. Además, el cambio de COPERT III a COPERT IV supone solo una actualización de los factores de emisión para los vehículos más modernos (tecnologías EURO III, IV y V) por lo que no afecta de manera significativa los factores de emisión utilizados en ambos casos.

**Figura 18: Distribución porcentual de las emisiones por tipo de calle**



Fuente: Elaboración propia a partir de la salida del modelo COPERT.

Para calcular las emisiones de fuentes móviles, siguiendo el enfoque “Bottom-up”, se sigue una metodología similar a la descrita anteriormente pero adaptada para utilizar datos a nivel de calle. Es decir que, por ejemplo, las emisiones de escape en calientes para cada segmento de calle se calculan como:

$$E_{Hot;i,j,k,h} = F_{j,k} \times L_k \times CPD_j \times e_{Hot;i,j,k} \quad (4)$$

Donde:

$E_{Hot}$ : emisión del contaminante  $i$  en [g/hora] producida por los vehículos clase  $j$  manejados en el segmento de calle  $k$  para la hora  $h$ .

$F_{j,k}$ : número de vehículos [veh] para el segmento  $k$  y la hora  $h$

$L_k$ : longitud del segmento  $k$  [km]

$e_{Hot;i,j,k}$ : factor de emisión [g/km] para el contaminante  $i$ , para vehículos de clase  $j$  y segmento de calle  $k$ .

$CPD_j$ : composición promedio diaria para la clase vehicular  $j$

Donde los factores de emisión  $e_{Hot}$  se calculan utilizando la velocidad media de cada segmento y los factores  $CPD_j$  son obtenidos a partir de la composición del flujo de cada clase vehicular  $j$  obtenidos durante los conteos de tráfico realizados en algunas calles del Gran Mendoza. Para su posterior procesamiento y cálculo de un modelo de dispersión, el patrón de contaminantes se agrupa en celdas, en un esquema grillado por medio de herramientas de SIG. Esto permite reducir en gran medida la cantidad de registros a procesar. Éstas celdas deben ser lo suficientemente pequeñas como para que no haya un número elevado de registros, haciendo de esta manera lento el procesamiento de información, y tampoco es útil hacerlas demasiado grandes ya que la información que se asocia se diluye demasiado. Es por ello que la información del segmento (aprox. 25000 segmentos en Mendoza) se los asocia en grillas de 500x500m (aprox. 7200 celdas) en un marco de 40x 45 km. Se utilizó un tamaño de celda de aproximadamente 500 metros de lado como solución de compromiso, logrando así obtener imágenes con información aceptable y que requieren un tiempo de procesamiento manejable por el hardware disponible. Desde un análisis bottom-up, las emisiones totales de contaminantes o gases de efecto invernadero generados por el tránsito vehicular puede calcularse como:

$$E_k = \sum_j L_j \times \left( \sum_i F(m_i, k, v_j) \times N_{i,j} \right) \quad (5)$$

Donde,  $E_k$  es la emisión para el contaminante  $k$ , el factor de emisión  $F(m_i, k, v_j)$  es expresado como la masa de contaminante  $m_i$  por unidad de longitud y es una función de la velocidad  $v$  y del tipo de vehículo  $i$ , y del contaminante  $k$ ; el flujo de tráfico  $N_{i,j}$  es expresado para cada segmento de calle  $j$  y tipo de vehículo  $i$ . El tipo de vehículo  $i$  depende del combustible utilizado (GNC, gasoil, nafta) y de su uso (carga, particular, pasajeros).

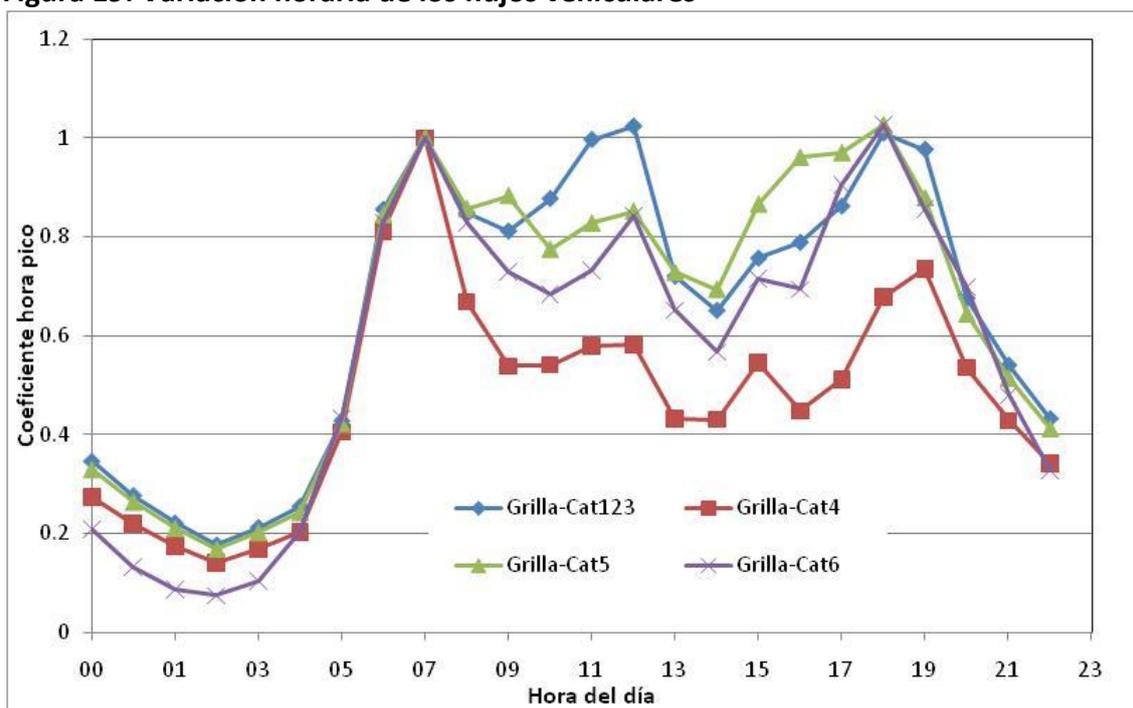
Los resultados de la distribución espacial de las emisiones en un formato de grilla se muestran en las figuras siguientes. La Figura 20 muestra las emisiones de monóxido de carbono para la hora pico en g. Luego la Figura 21 muestra las emisiones totales diarias (kg/día) calculadas a partir del valor de la hora pico y un perfil de variación horaria media (Figura 19). La Figura 22 muestra las emisiones de óxidos de nitrógeno para la hora pico en gramos, y de la misma manera la Figura 23 muestra el valor diario total en kg/día. Lo mismo se ha realizado para material particulado; hidrocarburos no metánicos.

El Cuadro 11 nos indica un resumen del balance de emisiones calculados por diversos métodos, para el año 2010. La primera columna muestra las emisiones a partir de los datos de modelo de tránsito actualizado, Como ya se mencionó más arriba, este muestra una subestimación, debido a que sólo se consideraron las vías principales.

**Cuadro 11: Balance total de emisiones por método top-down y bottom-up**

	Bottom up	Top down	Top Down
ton/año	PTUMA	Km recorridos	Combustible
CO	28,818	44,201	37,877
NO	6,512	12,588	9,313
PM10	423	1,022	1,327
NMVOC	3,878	10,053	27,223

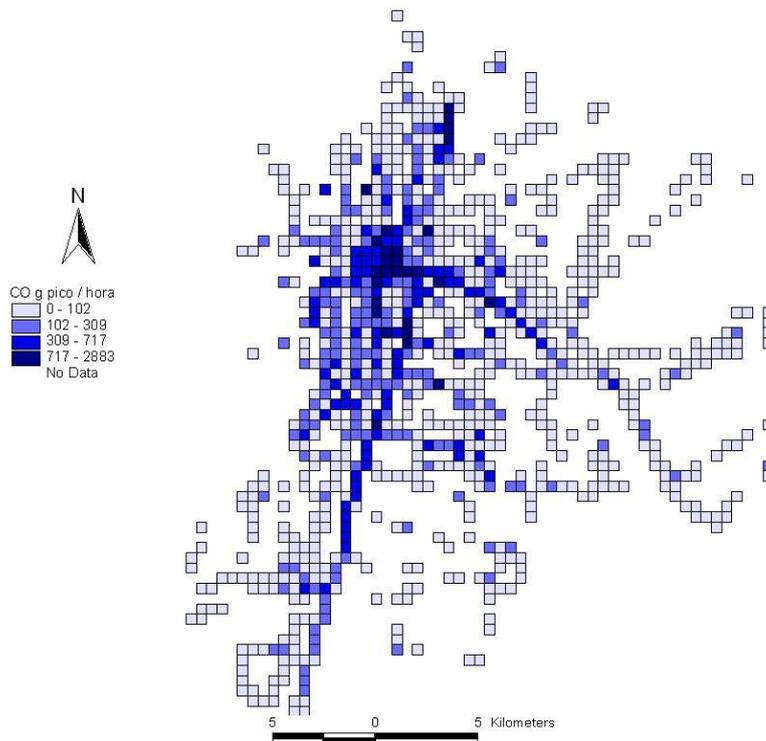
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 19: Variación horaria de los flujos vehiculares**

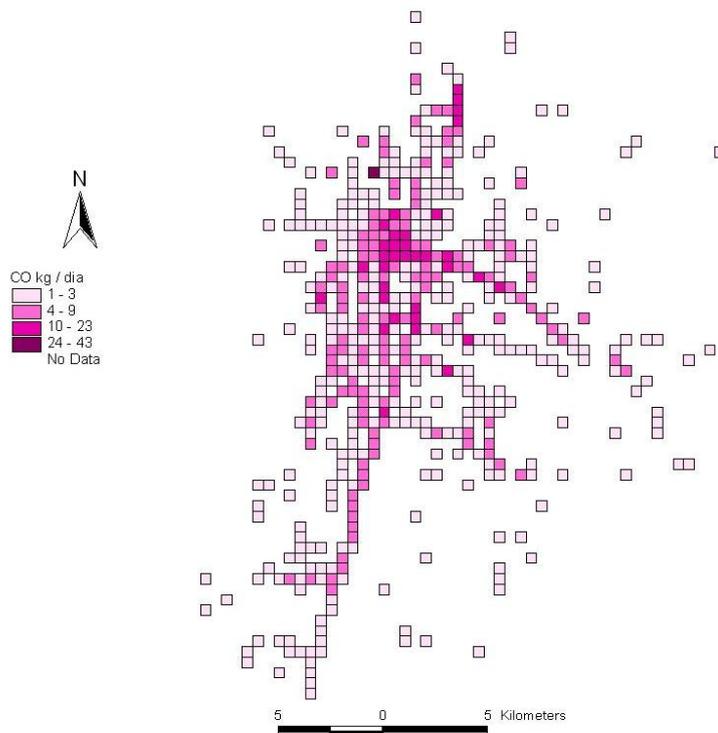
Fuente: Elaboración propia.

En cambio en el método top-down se calcula de estimaciones globales, a partir del parque automotor, una estimación de los kilómetros recorridos, o del combustible vendido. Las emisiones del monóxido de carbono como los hidrocarburos no metánicos son muy dependientes del consumo de naftas, y siendo éste el principal combustible de los vehículos particulares, hay una gran incertidumbre en cuanto a kilómetros recorridos y eficiencia de consumo. Como se mostró en la

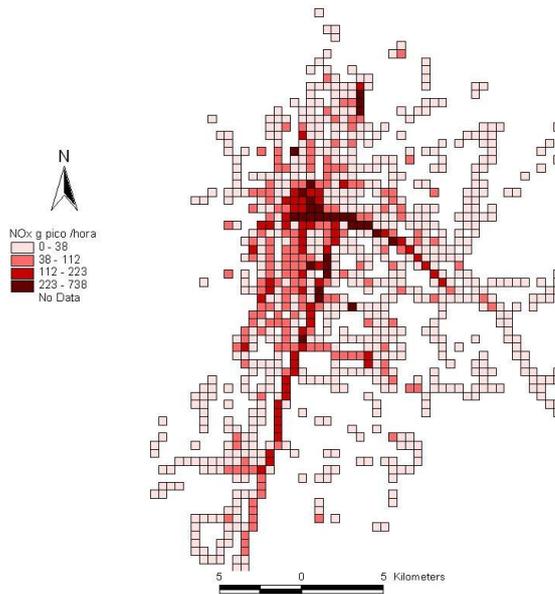
Figura 15, la venta de combustibles está muy relacionada a la situación económica del momento de evaluación, y tiene una alta variación. Por lo que estas divergencias pueden considerarse aceptable., para la certidumbre de los datos disponibles.

**Figura 20: Emisiones de monóxido de carbón g por hora pico**

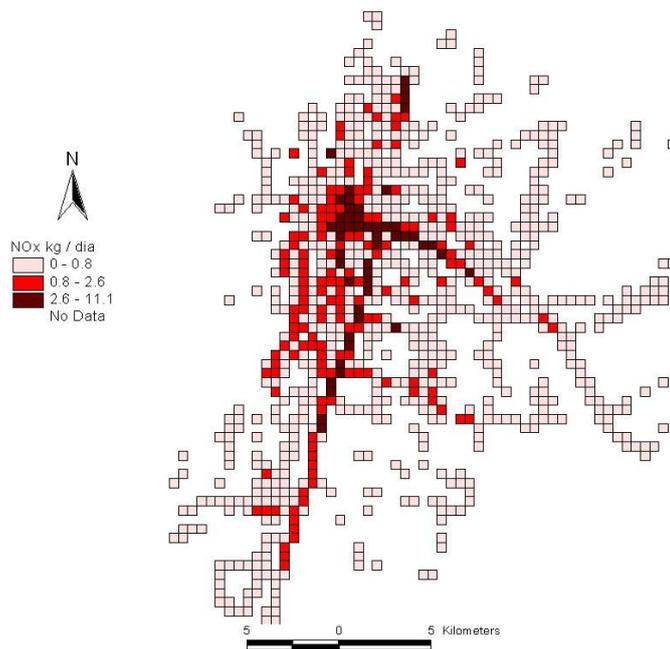
Fuente: Elaboración propia, a partir los datos de modelos de tránsito

**Figura 21: Emisiones de monóxido de carbono en kg/día**

Fuente: Elaboración propia, a partir de la estimación de modelos de tránsito

**Figura 22: Emisiones de óxidos de nitrógeno en g pico / hora**

Fuente: Elaboración propia, a partir de la estimación de la grilla de emisión

**Figura 23: Emisiones de óxidos de nitrógeno en kg/día**

Fuente: Elaboración propia, a partir de la estimación de modelos de tránsito

## 4 Modelos de calidad del aire

Una de las herramientas de diagnóstico más importante la constituyen los modelos de calidad del aire, que van dirigidos a ayudar a determinar las consecuencias que el presente nivel de emisiones tiene sobre el medio ambiente y/o el riesgo para la salud de sus pobladores, y a comprender la contribución de cada uno de las fuentes.

Los pasos más importantes son (Puliafito, 2003): a) estudio y pronóstico de la emisión de contaminantes; b) estudio y pronóstico de los patrones del viento; c) aplicación de modelos de transporte y dispersión de contaminantes; y d) uso de modelos fotoquímicos, a fin de determinar la formación de reactivos secundarios, como el ozono, PAH, etc.; y e) calibración con estaciones de monitoreo de los contaminantes estudiados.

La contaminación vehicular es un problema importante en la afectación de la calidad del aire por dos razones, a) por un lado las fuentes puntuales o industriales se conocen con mayor precisión y en general es posible aplicar sistemas de control de sus emisiones; y b) por el otro lado las emisiones de las fuentes móviles son altamente variables tanto espacial como temporalmente, lo que dificulta su estimación y control. Por lo tanto, además de la carencia de suficientes estaciones de monitoreo, la limitación actual más importante en la modelación de la calidad del aire es la alta incertidumbre espacial y temporal de las emisiones vehiculares.

### 4.1 Cálculo de las concentraciones ambientales

#### 4.1.1 Modelo CALPUFF

Con el objeto de estimar la dispersión de contaminantes en la atmósfera, se utilizó el sistema de modelado CALPUFF, incorporando así, el transporte, dispersión y transformación de NO<sub>x</sub>, CO, VOC y PM<sub>10</sub>. CALPUFF es un modelo de dispersión gaussiano por soplos, de estado no estacionario, multicapa y multiespecie que puede simular los efectos de condiciones meteorológicas cambiantes en el tiempo y espacio sobre el transporte, transformación y remoción de contaminantes (Scire et al., 2000). Dado que CALPUFF es un modelo de soplos lagrangiano, está programado para simular cantidades discretas de material contaminante emitidas por una fuente en el flujo de aire, así, mientras la circulación cambia de hora a hora, el camino que cada soplo sigue, cambia con la nueva dirección del viento. El modelo usa la formulación de soplo gaussiano para el cálculo de la concentración de contaminantes en cualquier lugar ubicado a sotavento en una ubicación específica (receptor). Un detalle de algoritmos para los diferentes procesos físicos que gobiernan la dispersión y detalles sobre aplicaciones de los modelos pueden encontrarse en Scire et al., 2000 y US EPA, 2000. La Ecuación 6 y la Ecuación 7 muestran que la contribución de un soplo en un receptor dado es:

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_y} g \exp\left[-\frac{d_a^2}{2\sigma_x^2}\right] \exp\left[-\frac{d_c^2}{2\sigma_y^2}\right] \quad (6)$$

$$g = 2/\sqrt{\pi} \sigma_z^{-2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{(h_e + 2nh)^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (7)$$

Donde  $C$  es la concentración a nivel del piso ( $\text{g}/\text{m}^3$ ),  $Q$  es la masa de contaminante ( $\text{g}$ ) en el soplo,  $\sigma_x$  es la desviación estándar ( $\text{m}$ ) de la distribución gaussiana en la dirección del viento,  $\sigma_y$  es la desviación estándar ( $\text{m}$ ) de la distribución gaussiana en la dirección perpendicular al viento,  $\sigma_z$  es la desviación estándar ( $\text{m}$ ) de la distribución gaussiana en la dirección vertical,  $d_a$  la distancia ( $\text{m}$ ) desde el centro del soplo en la dirección del viento al receptor,  $d_c$  la distancia ( $\text{m}$ ) desde el centro del soplo hasta el receptor en la dirección perpendicular al viento,  $g$  el término vertical ( $\text{m}^{-1}$ ) de la ecuación gaussiana,  $H_e$  es la altura efectiva ( $\text{m}$ ) del centro del soplo, sobre el suelo,  $h$  la altura de capa de mezcla ( $\text{m}$ ) y  $n$  es la extensión de diseminación vertical de la pluma vertical incluyendo reflexiones múltiples en la capa de mezcla y el suelo.

El modelo es ampliamente recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) para simular los efectos de la dispersión de contaminantes en transporte a gran escala, típicamente entre 50 y 200 km ([US EPA, 2008](#)), y contiene varios algoritmos aplicables para cálculos de distancias mucho menores. Asimismo, el modelo puede tratar períodos de calma (velocidades del viento  $< 1$  m/s) evitando estimaciones de concentración poco reales ([US EPA, 1998](#)). Otro motivo de elección del modelo fue su capacidad de simular reacciones químicas lineales en forma consistente con la formulación del soplo, incorporando mecanismos de reacción de pseudo-primer orden para la conversión de  $\text{SO}_2$  en  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{NO}_x$  en  $\text{NO}_3^-$ .

Una consideración de modelado clave en CALPUFF es la especificación de los coeficientes de dispersión gaussiano horizontal y vertical,  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$ , para un soplo, al inicio y al final de cada paso de muestreo y también, para cada receptor en el cual se compute la contribución de la nube contaminante. Los coeficientes para el soplo al inicio del paso de muestreo son iguales a los mismos encontrados al final del paso anterior. Los coeficientes para el final del paso, o para un receptor cercano, se computan de acuerdo a una relación de turbulencia y constantes relacionadas con la fuente.

El período de simulación para cada sector es de un año completo de meteorología (2009) como ya se especificó más arriba. Los datos fueron obtenidos de los registros horarios de la estación ubicada en el Aeropuerto El Plumerillo ( $32^\circ 50' \text{ S}$ ,  $68^\circ 50' \text{ W}$ ). Se incorporaron al modelo elevaciones del terreno con resolución de aproximadamente 90 m usando datos de United States Geological Survey (USGS) y se caracterizó cada uno de los dominios incorporando datos de uso del suelo globales disponibles en bases de datos de Global Land Cover Characterization (GLCC). Se modelaron tres especies ( $\text{NO}_x$ , CO y  $\text{PM}_{10}$ ) y se utilizó la configuración por defecto del modelo CALPUFF para todas las opciones de dispersión. Para determinar perfiles de concentraciones, en todos los dominios se utilizaron receptores grillados cartesianos ubicados cada 250 m, lográndose una buena representación de los resultados de calidad de aire y un adecuado tiempo computacional.

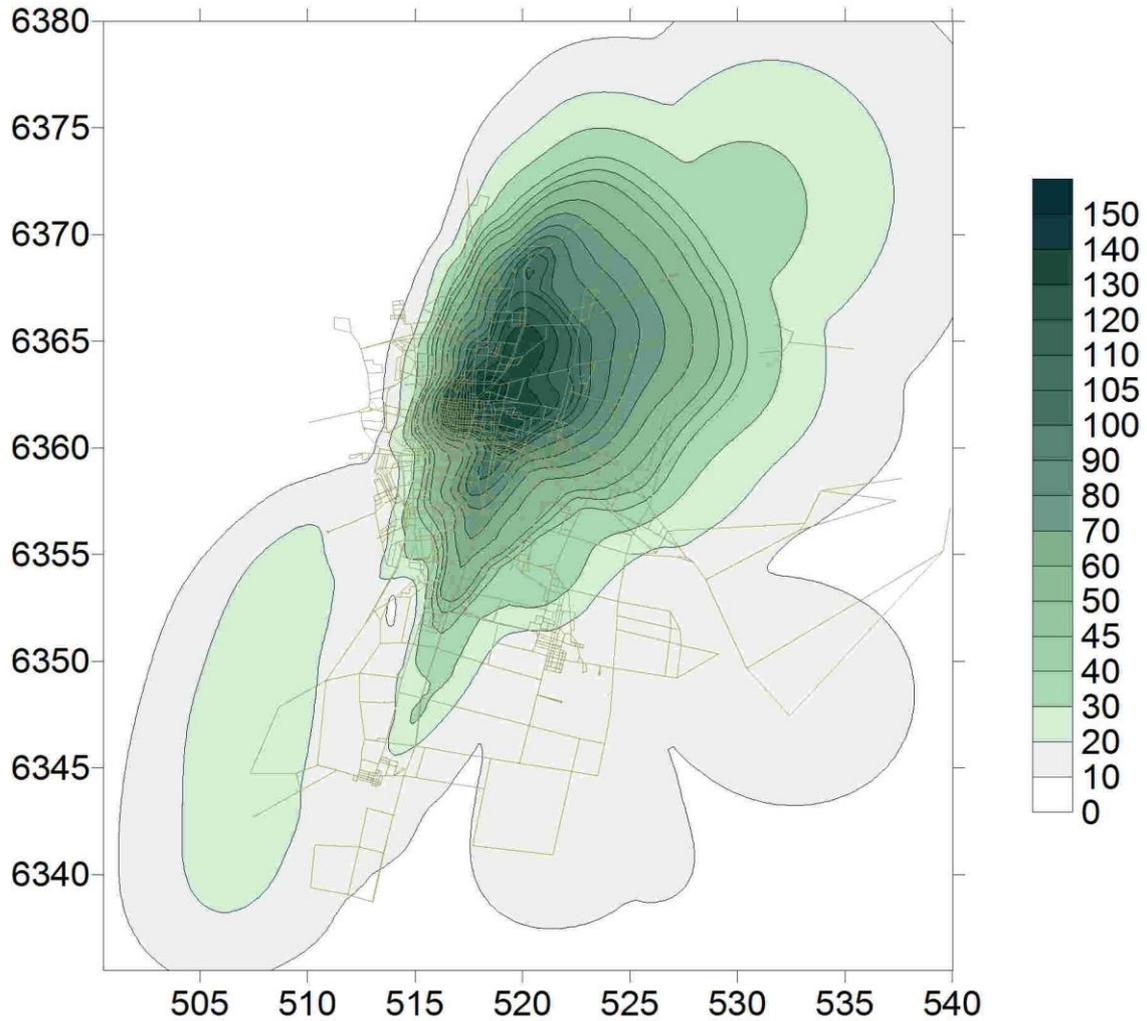
Las 38 categorías de uso del terreno de la USGS han sido derivadas en 14 categorías del uso del terreno de CALMET para el uso de CALPUFF. Las propiedades de superficie tales como Albedo, Relación de Bowen, rugosidad superficial, se computan proporcionalmente a cada fracción de uso del terreno en el modelado de CALPUFF.

La simulación meteorológica y de dispersión ha sido conducida por un periodo de un año. Éste se ha seleccionado de acuerdo con la disponibilidad de datos. Para CALPUFF se utilizó el formato de datos meteorológicos del tipo *ISC3 extendido* con una sola estación, usados por el modelo para asignar a cada punto de la grilla una distribución espacial de variables

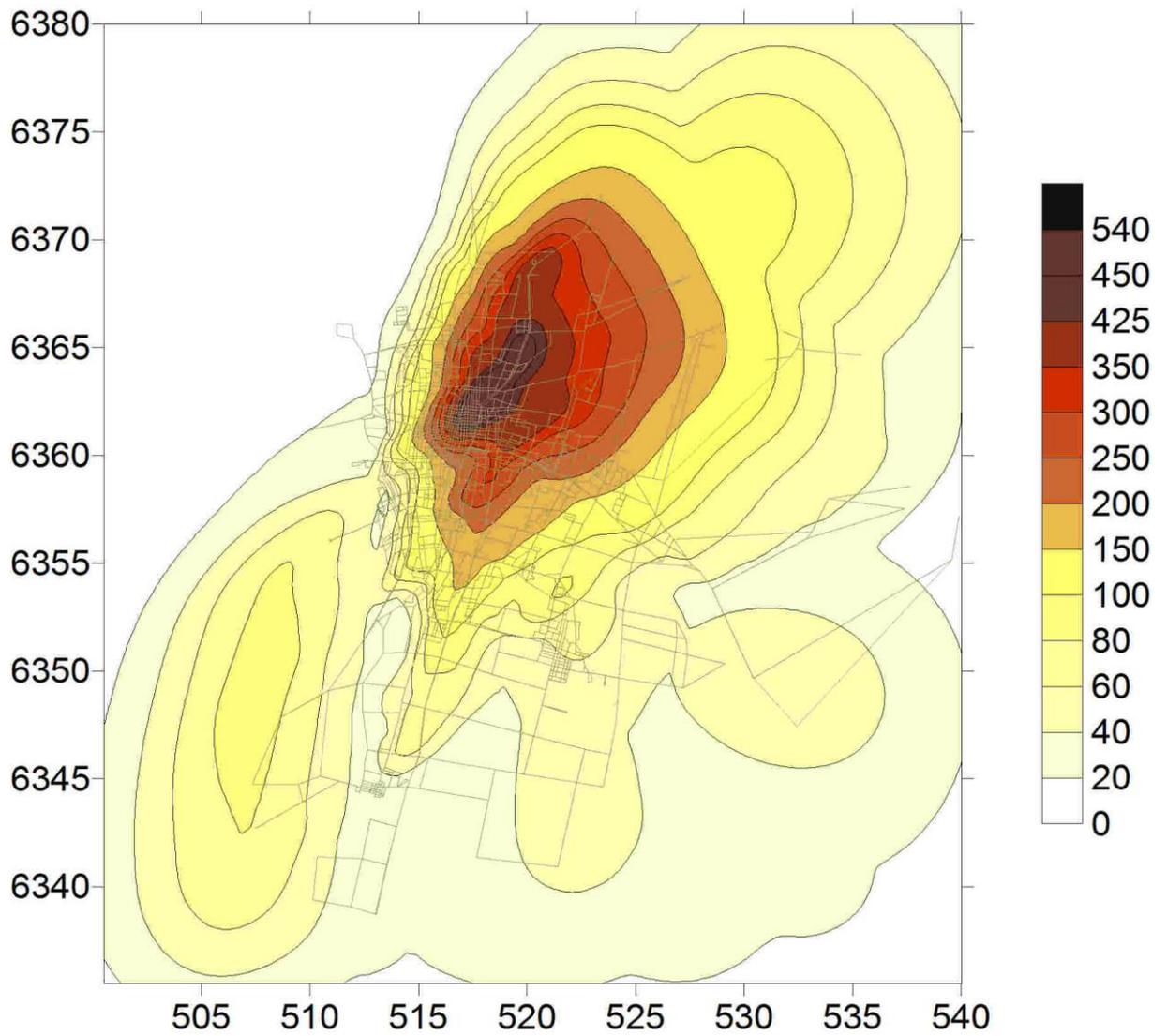
meteorológicas. En este estudio se han utilizado receptores grillados localizados en el centro de cada punto de la grilla con el objeto de obtener suficiente información para dibujar los contornos de las estimaciones de concentración.

#### **4.2 Resultados de la modelación**

La Figura 24 muestra la salida de los modelos de dispersión para los valores medios horarios de  $\text{NO}_x$ . La Figura 25 muestra los resultados para el monóxido de carbono. En ambos gráficos puede apreciarse la influencia del tráfico vehicular en la zona urbana central sobre la pluma de contaminación. La Figura 26 muestra tres series temporales de calidad del aire, en forma de concentraciones horarias de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno para la primer semana de junio de 2009, en distintas ubicaciones de la ciudad: Plaza Independencia, Hospital Central; e Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV). Se puede ver la combinación de dos efectos, por un lado la variación horaria de los contaminantes producto de la variación del tráfico automotor, y por otro lado la meteorología que influye en la mayor o menor intensidad de la concentración de contaminantes a partir de la dirección y velocidad del viento y la presencia de capas de inversión más o menos bajas.

**Figura 24. Resultados de la modelación para NO<sub>x</sub>**

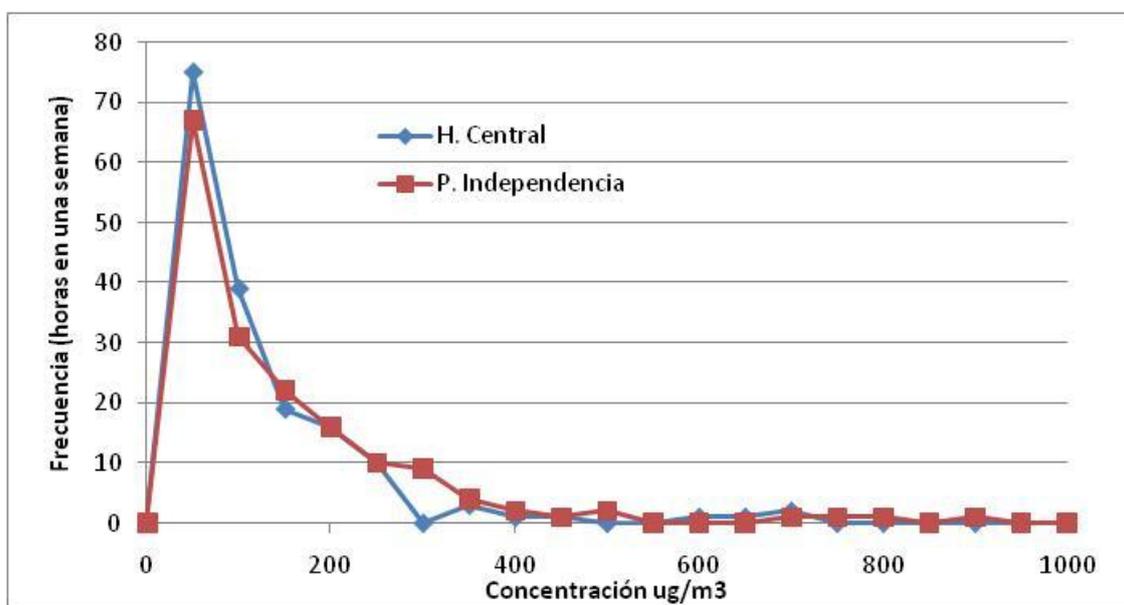
Fuente elaboración propia: Promedios horarios de concentración de NO<sub>x</sub>, siendo todos los valores en µg/m<sup>3</sup>

**Figura 25: Resultados de la modelación para NOx**

Fuente elaboración propia: Promedios horarios de concentración de CO, siendo todos los valores en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

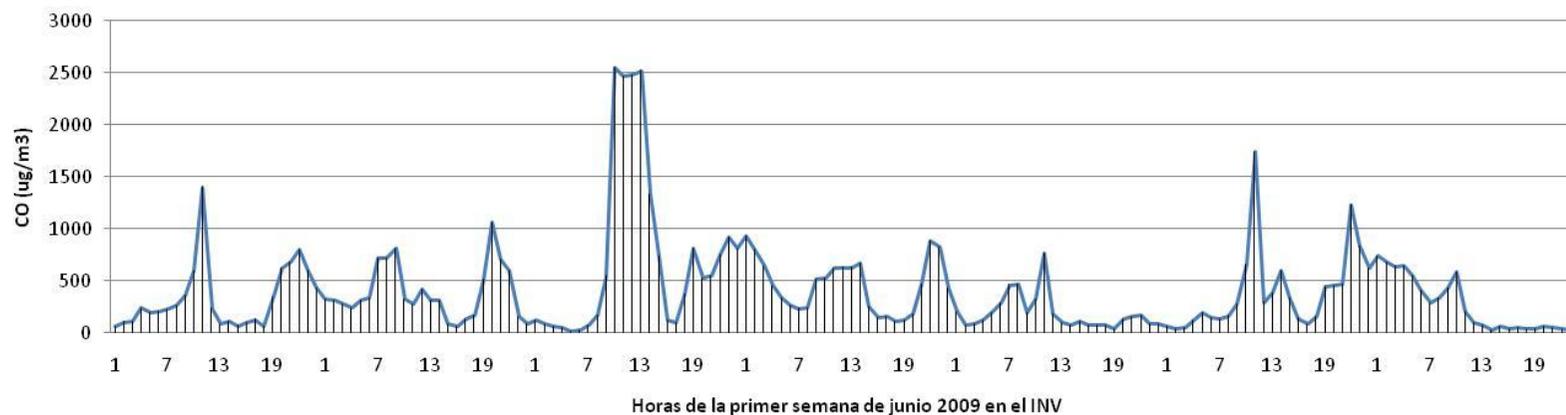
**Cuadro 12: Valores guías de calidad del aire**

		Valores de referencia en $\mu\text{g}/\text{m}^3$					
		NAAQS	OMS	Argentina	Pcia. Buenos Aires	CABA	Mendoza
Contam.	Periodo			Ley N° 20284	Decreto N° 3395/96	Ley 1.356	Ley 5.100
CO	8h	10000	10298	11442	10000	10000	10000
	1h	40000	29750	57213	40082	40000	40000
NO <sub>x</sub>	1 año (promedio aritmético)	100	40	N/D	N/D	100	100
	1h	188	200	845	400	376	400
PM <sub>10</sub>	24h	150	50	N/D	150	150	N/D
	30 días	N/D	N/D	150	N/D	N/D	N/D
PM <sub>2.5</sub>	1 año (promedio aritmético)	15	10	N/D	50	15	N/D
SO <sub>2</sub>	24h	365	12	N/D	365	365	N/D
	1h	196	N/D	N/D	N/D	N/D	260
	1 año (promedio aritmético)	78	50	N/D	80	80	N/D
	30 días	N/D	N/D	70	N/D	N/D	N/D

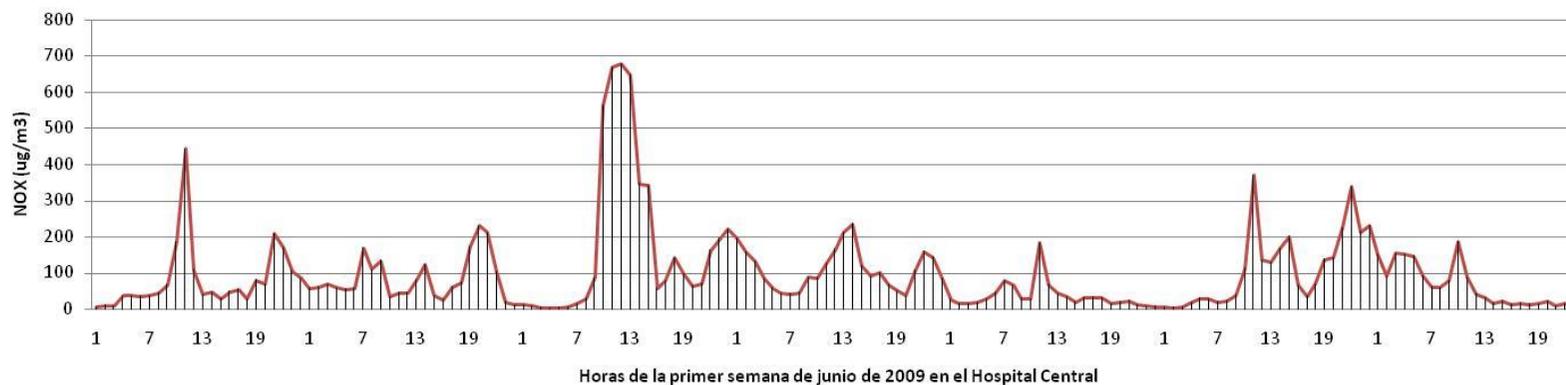
**Figura 26: Frecuencia de ocurrencia NOx**

Fuente elaboración propia: Distribución de valores horarios calculados de concentración de NOx en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para una semana en junio 2009 (168 horas).

**Figura 27: Serie temporal de concentraciones**



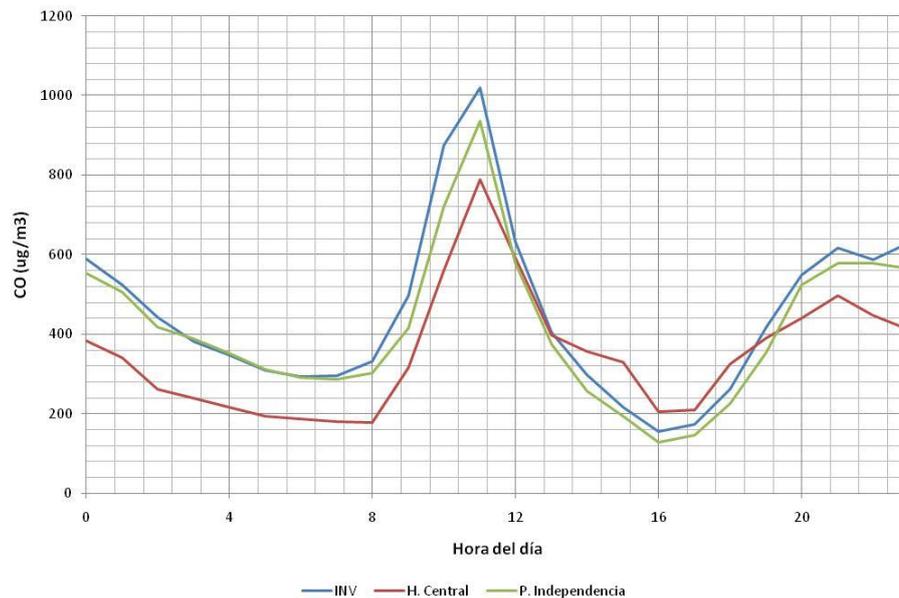
Fuente elaboración propia: Promedios horarios calculados de concentración de CO en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el Instituto Nacional de Vitivinicultura



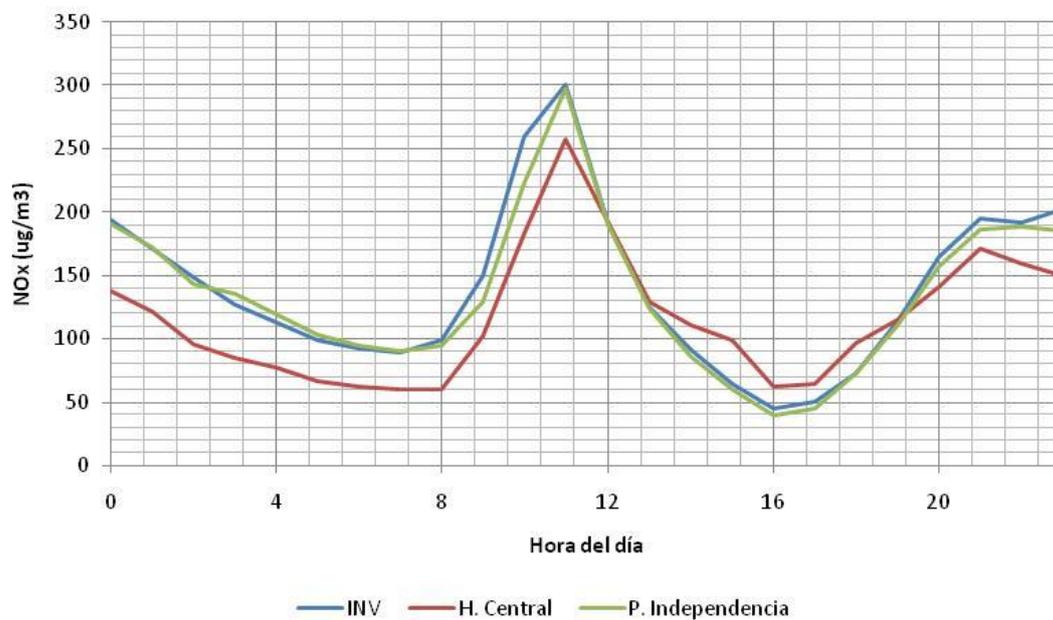
Fuente elaboración propia: Promedios horarios calculados de concentración de NOx en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el Hospital Central

**Serie temporal de concentraciones (continuación)**

Fuente elaboración propia: Promedios horarios calculados de concentración de CO en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la Plaza Independencia

**Figura 28: Variación horaria de CO**

Fuente elaboración propia: Promedios horarios calculados de concentración de CO en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

**Figura 29: Variación horaria de NOx**

Fuente elaboración propia: Promedios horarios calculados de concentración de NOx en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Estos gráficos muestran que las concentraciones calculadas están en general por debajo de los niveles guías (por ejemplo  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{NO}_x$  y  $40000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{CO}$ ). Para los  $\text{NO}_x$  vemos que habrá algunas horas donde se supere la norma. Esto se aprecia en la distribución de frecuencias para una semana de junio, cuya media es de 97 y  $102 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente para P. Independencia y H. Central. En la primera ubicación sólo 9 valores superan los  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y 22 valores en el H. Central.

Finalmente la Figura 28 y la Figura 29 muestran el promedio de la variación horaria de contaminantes para  $\text{CO}$  y  $\text{NO}_x$ . El pico máximo ocurre entre las 9 y 10 de la mañana, donde coinciden las altas emisiones con una dispersión todavía pobre de la mañana. A medida que el sol calienta la ciudad, la capa de inversión se levanta y se disipa más fácilmente las emisiones de contaminantes. A la caída del sol, con el “regreso al hogar” vuelve a aumentar los niveles de contaminación.

Los otros contaminantes muestran variaciones similares, salvo por el material particulado, que es dependiente de muchas otras fuentes, inclusive las naturales (ver informe anterior).

## 5 Discusión

### 5.1 *El problema de la movilidad y la mitigación de la contaminación*

Las estrategias de mitigación que se puedan sugerir deben enmarcarse dentro de un enfoque realista de las necesidades de movilidad que tiene la sociedad actual, ya que la movilidad está fuertemente asociada al crecimiento económico y a las libertades personales. Una movilidad sustentable implica para la industria del sector transporte (ST): a) adaptar el diseño del vehículo particular para mejorar su capacidad, rendimiento, emisiones, consumo de combustibles, seguridad; b) reducir drásticamente sus emisiones lo que puede significar, la transición a otros combustibles alternativos. Según los modos de transporte, la movilidad sustentable requiere: c) proveer accesibilidad a aquellos que no tienen posibilidad de poseer un vehículo privado, mejorando la relación entre el transporte público y privado; d) Resolver adecuadamente la competencia por recursos y acceso a la infraestructura entre el transporte personal y de carga en las zonas urbanizadas; e) anticiparse a la congestión urbana, desarrollando un conjunto de opciones de movilidad de personas y carga. Para la planificación regional y urbana se requiere: f) mejorar el desarrollo, financiamiento y manejo de la infraestructura de movilidad, g) asegurar que el sistema de transporte coopere en el desarrollo económico, ya que la movilidad es una necesidad humana y mejora la calidad de vida.

A fin de resolver los problemas arriba planteados, existe instalado en los ámbitos políticos y sociales la convicción de que la construcción de sistemas masivos de transporte público, y otras medidas contrarias al ingreso de vehículos privados a las zonas urbanas más densas, como impuestos a los combustibles, peajes y aumento del costo del estacionamiento; son soluciones al problema de la congestión y las emisiones de GEI; resultando eficaces en la promoción del abandono del vehículo particular. Sin embargo, una revisión a la literatura especializada en temas de transporte y propuestas de mitigación, muestran una fuerte controversia sobre la efectividad de dichas medidas (Litman, 2007; Hensher, 2007; Poudenx, 2008). Así algunos académicos señalan que en la mayoría de los países, incluidos Europa y EE.UU., los sistemas masivos de transportes han fracasado sistemáticamente por las

siguientes razones (O'Toole, 2004; Stopher; 2004; Taylor; 2004; Winston y Maheshri, 2004):

a) *Económicas*: salvo por muy pocos sistemas en el mundo, la mayoría de los transportes masivos de pasajeros necesitan de un subsidio cada vez mayor de los Estados para mantener el sistema operativo; b) *Cambio modal*: la mayoría de los sistemas urbanos masivos, no han logrado aumentar su participación modal, en los últimos 20 años, por el contrario éstos, cada vez van perdiendo mayor participación frente al uso del automotor privado. En algunas ciudades los sistemas como trenes suburbanos, tranvías, subtes, LRT y BRT, sólo han brindado mayor acceso al transporte público a los sectores de menores recursos y no motorizados, pero no han captado a los usuarios del vehículo privado. Los aumentos en los impuestos, peajes y estacionamiento, sólo generan malestar, pero no alcanzan a hacer desistir a la mayoría de los usuarios; c) *Cambio de mentalidad*: a pesar de la fuerte campaña de educación y concientización de las ventajas sociales y ambientales del uso del transporte público, y la presión impositiva, el usuario particular difícilmente abandone el uso del vehículo particular (bien privado) por el transporte público (bien público y social). Los problemas son complejos. Algunas de las ventajas medibles o perceptibles por el usuario del vehículo particular, son: i) flexibilidad de destinos y horarios; ii) comodidad; iii) menor tiempo de traslado (aunque no siempre es así), o su equivalente en modos más veloces de traslado; iii) estatus social, todos los países con un PBI/cap superior a 7 mil USD/cap anual han visto incrementado el número de vehículos privados a una tasa elevada; iv) calidad del viaje; v) Momento de soledad y tranquilidad durante el viaje, etc. La percepción de estas y otras ventajas, son superiores a las desventajas de su uso: i) Mayor costo de traslado, incluyendo el costo de poseer el vehículos, seguros, impuestos y operativos (combustible y mantenimiento) ii) pérdida de tiempo por congestión; iii) mayor contaminación ambiental, iv) mayores riesgos de accidentes, v) menor conciencia social, vi) mayor consumo de energía. Tanto en Argentina, como a nivel global el consumo per cápita de energía y la tasa de motorización están en constante aumento. Esto se manifiesta en una creciente movilidad en términos de traslados de personas-km o toneladas de cargas-km anuales asociados a un mayor consumo per cápita, mayores tasas de urbanización y una mayor extensión de las zonas periurbanas en las grandes ciudades. Por otra parte la tendencia creciente a vivir fuera de las zonas urbanas, agravado por los crecientes problemas de inseguridad, ha potenciado el uso del vehículo particular para acceder a los lugares de trabajo y estudio en las zonas urbanas, generando un aumento de la tasa de motorización. Entre los sistemas masivos de uso público en Argentina se destaca el tren suburbano del Gran Buenos Aires que cumple una función social de permitir el acceso de una parte importante de la población a las zonas de trabajo. Sin embargo este servicio lo utiliza mayoritariamente la población no motorizada, y difícilmente sea una opción sustituta del vehículo particular.

Una discusión más detallada de opciones específicas de mitigación del sector transporte en Argentina se ha publicado en Puliafito y Castesana, (2010).

## 6 Conclusiones

En este capítulo se presenta una estimación actualizada de las emisiones de contaminantes atmosféricos generados por fuentes móviles para el año 2009 en el área de Gran Mendoza. Se ha realizado un balance de emisiones usando dos metodologías tipo top down, una basada en la venta de combustibles y otra en función de la composición del parque automotor y el kilometraje anual recorrido. Cada enfoque tiene sus ventajas y desventajas, y su información es complementaria. Por un lado el método de la venta de combustibles nos permite apreciar el consumo energético y la eficiencia de los cambios tecnológicos. Así una mejora en la tecnología se manifiesta en una reducción del consumo. Un aumento del parque automotor y de las distancias recorridas aumenta las emisiones del transporte. Una justa calibración de ambos métodos nos da una seguridad de manejar datos promedios más confiables.

Casualmente lo que se aprecia en los datos es que ha habido un fuerte incremento del parque automotor, pero debido a su renovación parcial (lo que implica mejor eficiencia de consumo y emisiones); el incremento de la contaminación no ha sido proporcional al aumento del parque vehicular.

El tercer método tiene una visión tipo bottom-up, es decir se estiman las emisiones a partir de la información de detalle de flujos vehiculares a nivel de calle, usando un sistema de información geográfico. A partir de un mapa de emisiones, se puede calcular la distribución espacial de las concentraciones ambientales, usando programas de dispersión atmosférica

Este método nos permite resolver la distribución espacial y temporal de las emisiones estimadas en conjunto, y permite analizar situaciones puntuales o zonas críticas. La desventaja es que se necesitan muchos datos, y una permanente actualización a fin de capturar las variaciones estacionales o interanuales.

Los resultados se muestran en mapas específicos por contaminantes y tiempos de integración. La metodología utilizada en la estimación es una metodología reconocida internacionalmente y avalada por publicaciones de los autores.

## 7 Referencias

1. ADEFA: Asociación de Fábricas de Automotores de Argentina. <http://www.adefa.com.ar/internas/anuarios.php>.
2. Alessandro, M., Endlicher W., Schultz E., Staubbelastung und Staubquellen in Mendoza/Argentinien. In: *Annalen der Meteorologie* 34:155 f, (1997).
3. Allende, D., Castro, F., Puliafito E.: Air pollution characterization and modeling of an industrial intermediate city; *International Journal for Applied Environmental Studies* Vol. 5, N. 2, 2010, pp. 275–296, ISSN 0973-6077 <http://www.ripublication.com/Volume/ijaesv5n2.htm>
4. Allende, D., Puliafito, E., Fernando Castro, F.: Modelado de emisiones vehiculares en el Gran Mendoza, V Congreso Interamericano de la Calidad del aire AIDIS, Santiago de Chile, (2007).
5. Argentina: Revision of the first national communication inventory. Secretariat for National Resources and Sustainable Development. October 1999. Country report to the United Nations framework convention on climate change (IPCC), (1999).
6. ARPEL: Medición de emisiones de vehículos en servicio en San Pablo, Santiago y Buenos Aires, Informe Ambiental ARPEL Número 25, (2005).
7. Baldasano J. M., Guereca L. P., Lopez E., Gasso S., Jimenez-Guerrero P., Development of a high-resolution (1 km x 1 km, 1 h) emission model for Spain: The High-Resolute Resolution Modelling Emission System (HERMES), *Atmospheric Environment*, 42 (31): 7215-7233, (2008).
8. Barbeito M.E., Clausen M.R., Castro, F.: Calidad del aire en Mendoza, II Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería EnIDI, Mendoza, Argentina, 16-18 de octubre 2007, Universidad Tecnológica Nacional, Universidad Nacional de Cuyo, N. Maldonado, F. Bochaca, Hebe Cremades (Eds.), pp 51-56, (2007).
9. Castro, F., Puliafito, E.: Emisiones de fuentes móviles del Gran Mendoza, III Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería EnIDI, Mendoza, Argentina, Universidad Tecnológica Nacional, Universidad Nacional de Cuyo, N. Maldonado, A. Vecar, Hebe Cremades (Eds.), pp 161-168 (2008)
10. CONCAWE Reports: Motor vehicle emission regulations fuel specifications, Part 1, summary and annual 1996 update. Reports, No. 5/97, (1997)
11. CORINAIR: Atmospheric Emission Inventory Guidebook, 3rd Edition, September 2003 Update, Mike Woodfield and Kristin Rypdal (Editors), EMEP, Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe, The Core Inventory of Air Emissions in Europe, European Environment Agency, (2003).
12. Cruzate, G., L. Gomez, M.J. Pizarro, P. Mercury and S. Bancharo (2007) 'Mapas de suelos de la República Argentina', *Proyecto PNUD ARG/85/019*. Instituto de Suelos y EEAs del INTA. <http://geointa.inta.gov.ar>.
13. D'Angiola, A., Dawidowsky, L., Gomez, D.: Development of spatially disaggregated on-road transport emission inventories for the Metropolitan Area of Buenos Aires, Argentina. *International Global Atmospheric Chemistry Activities Newsletter*, 40, 12-22 (2009)
14. Dai J., Rocke D.M., A GIS-based approach to spatial allocation of area source solvent emissions, *Environmental Modeling & Software*, 15:293-302, (2000).
15. Davis N., Lents J., Osses M., Nikkila N., Barth M.: Development and application of an international vehicle emissions model. Transportation Research Board 81st Annual Meeting, Washington D.C (2005).
16. DEIE: Estudio de patrones de movilidad de la población de la provincia de Mendoza, DEIE, Argentina, Mendoza, (2005). [http://www.deie.mendoza.gov.ar/publicaciones/menu\\_publicaciones.asp?filtro=Publicaciones%20Económicas](http://www.deie.mendoza.gov.ar/publicaciones/menu_publicaciones.asp?filtro=Publicaciones%20Económicas).
17. DNRPA: Dirección Nacional del Registro de la Propiedad del Automotor. <http://www.dnrpa.gov.ar/>
18. DOADU. 2010. Dirección de Ordenamiento Territorial de Mendoza, Ministerio de Ambiente y Obras Públicas, Gobierno de Mendoza. <http://www.doadu.mendoza.gov.ar/metropolitana/110.html>.
19. E. Puliafito, G. Rojic y F. Perez Gunella: "Inventario de emisiones para la ciudad de Buenos Aires", en pp 183-199. Puliafito, E. y Quaranta, N. (Ed), "Contaminación Atmosférica en Argentina. Contribuciones de la II Reunión Anual PROIMCA", 1a ed. Mendoza: UTN ISBN 978-950-42-0119-9

- (impreso), ISBN 978-950-42-0120-5, (digital E-Book). 249 páginas. (2009) [http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/investigacion/Libro\\_PROIMCA.pdf](http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/investigacion/Libro_PROIMCA.pdf)
20. EEA: European Environmental Agency: EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook, <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEP/CORINAIR5>, (2007).
  21. Endlicher, W., Zahnen B., Schultz E., Alessandro M., Mikkan R., Polimeni M., Clima Urbano y Contaminación Atmosférica en Mendoza/Argentina. In: Fernández García, F., E. Galán Gallego u. R. Cañada Torrecilla (Coord.), Clima y Ambiente Urbano en Ciudades Ibéricas e Iberoamericanas. Madrid: 115-134, (1998).
  22. EPA: Environmental Protection Agency: Emission factors- Manual AP-42, <http://www.epa.gov/ttn/chieff/ap42/index.html>, (2004).
  23. EPA: U. S. Environmental Protection Agency. Technical Issues Related to use of the CALPUFF Modeling System for Near-field Applications. Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, NC 27711, (2008).
  24. EPA: U.S. Environmental Protection Agency, Requirements for Preparation, Adoption, and Submittal of State Implementation Plans (Guideline on Air Quality Models); Proposed Rule. Federal Register. 65. 98. 31858-31859, (2000).
  25. EPA-OAQPS: Guideline for development of control strategies in areas with fugitive dust problems. EPA-405/2-77-029 (1977).
  26. Escobar, J.M., et al., Actualización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la región metropolitana 2005, DICTUC; Pontificia Universidad Católica de Chile, 2007.
  27. Fernández, R. Allende, D. Castro, F. Cremades, P.; Puliafito, E.: "Modelado regional de la calidad de aire utilizando el modelo Wrf/Chem: Implementación de datos globales y locales para Mendoza". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 14, pp 01.43 -01.60; 2010. ISSN 0329-5184, <http://www.asades.org.ar/>
  28. Fernández, R. Cremades, P., Allende, D., Puliafito, E.. "Sensitivity analysis of the spatial and altitude distributions of pollutants using the weather research and forecasting model with chemistry (Wrf/Chem)" *Mecánica Computacional* Vol XXIX, págs. 8087-8108; Eduardo Dvorkin, Marcela Goldschmit, Mario Storti (Eds.) Buenos Aires, 2010, ISSN 1666-6070, <http://www.amcaonline.org.ar>
  29. Gantuz, M., Puliafito, E., Puliafito, J.L.: "Modeling mobile source emissions by on-board characterization of roadways", in *Urban Transport 2009*, C. Brebbia, (Ed.). Editorial WIT Press, Southampton, Boston, Computational Mechanics Publications. ISBN 978-1-84564-190-0, ISSN 1746-4498, pp 541-552, 2009. <http://www.witpress.com/transport-engineering.html>
  30. Hensher, D. (2007): Sustainable public transport systems: Moving towards a value for money and network-based approach and away from blind commitment, *Transport Policy* 14, 98–102.
  31. INDEC. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. <http://www.indec.gov.ar/>
  32. Informe Ambiental 2006, Subsecretaría Medio Ambiente, Gobierno de Mendoza, (2006).
  33. IPCC, (2007). Climate Change 2007. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Pachauri RK, Reisinger A (eds.) IPCC, Geneva, Switzerland.
  34. IPCC: Watson, R., M.C. Zinyowera, and R. Moss (eds.): Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 861 pp. (1996).
  35. Ketzler, M., et al.: Estimation and validation of PM2.5/PM10 exhaust and non-exhaust emission factors for practical street pollution modeling. *Atmospheric Environment* 41, 9370–9385 (2007)
  36. Kühlwein J., Friedrich R., Uncertainties of modelling emissions from road transport, *Atmospheric Environment*, 34: 4603-4610, (2000).
  37. Litman, T. (2007): Evaluating rail transit benefits: A comment. *Transport Policy* 14, 94–97.
  38. Namdeo A., Mitchell G., Dixon R. TEMMS: an integrated package for modelling and mapping urban traffic emissions and air quality, *Environmental Modeling & Software*, 17:179-190, (2002).
  39. New York: New York Major's Office of Operations, Inventory of New York City Greenhouse Gas Emissions, New York, <http://www.nyc.gov/html/planyc2030/html/home/home.shtml>, (2007).
  40. Ntziachristos, L., Samaras, Z., COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport Methodology and emission factors (Version 2.1), Technical Report No 49, EEA, Copenhagen, (2000).
  41. O'Toole, R., (2004): Great Rail Disasters; the Impact of Rail Transit on Urban Livability. Reason Public Policy Institute.

42. Ossés de Eicker, M., Zah, R., Triviño, R., Hurni, H.: Spatial accuracy of a simplified disaggregation method for traffic emissions applied in seven mid-sized Chilean cities, *Atmospheric Environment* 42, 1491–1502 (2008)
43. Oxley T., Valiantis M., Elshkaki A., Simon H.M.: Background, Road and Urban Transport modelling of Air quality Limit values (The BRUTAL model), *Environmental Modelling & Software*, 24 (9):1036-1050, (2009).
44. Perez Gunella, F., Puliafito, E., Pirani, K.: "Calculo de las emisiones del transporte para la Ciudad de Buenos Aires usando un sistema de información geográfico", *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, ISSN 0329-5184, Vol. 13 Tema 7 pp. 57-64, Noviembre 2009
45. Poudenx, P: (2008): The effect of transportation policies on energy consumption and greenhouse gas emission from urban passenger transportation, *Transportation Research Part A* 42 901–909.
46. Puliafito E., Guevara M., Puliafito C., Characterization of urban air quality using GIS as management system. *Environmental Pollution*, 122:105-117, (2003).
47. Puliafito E., Guevara M., Puliafito C.: Modelling air pollution in an industrial area using GIS as an assessment tool, *Air Pollution 2001*, Wessex Institute of Technology, 12-14, (2001).
48. Puliafito, E., Allende, D.: Emission patterns of urban air pollution. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, Colombia, N. 42. pp. 38-56. (2007).
49. Puliafito, E., Castesana, P.: "Emisiones de carbono del sector transporte en Argentina". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 14, pp 07.01 -07.08; 2010. ISSN 0329-5184, <http://www.asades.org.ar/>
50. Puliafito E., Gantuz, M., Puliafito J.L: Characterizing mobile emissions by on-board measurements; *International Journal for Applied Environmental Studies* Vol. 5, N. 2, 2010, pp. 297–316. ISSN 0973-6077. <http://www.ripublication.com/Volume/ijaesv5n2.htm>.
51. Puliafito, E., Gantuz, M., Puliafito, C.: "A GIS model for urban air quality análisis", XIV Congreso sobre métodos numéricos y sus aplicaciones, ENIEF 20004 Bariloche, Argentina 8-11 Noviembre 2004 Asociación Argentina de Mecánica Computacional. en *Mecánica Computacional* Vol. XXIII- G. Buscaglia, E. Dari, O. Zamonsky (Eds.), pp 1787-1806, ISSN 1666-6070. (2004).
52. Puliafito, E., Rey Saravia, F., Pereyra, M., Pagani, M.: Modelación Y Monitoreo de la Calidad del Aire en el Polo Petroquímico de Bahía Blanca. II Reunión anual Proyecto Integrador PROIMCA, Universidad Tecnológica Nacional, San Nicolás de los Arroyos (2007).
53. Puliafito, E., Rojic, G., Perez Gunella, F.: "Emisiones de carbono para la ciudad de Buenos Aires", *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 11-14 Noviembre 2008, Vol. 2008, Tema 7, pp. 01-08 ISSN 0329-5184. Puliafito, E. y otros: Contaminación del aire por fuentes fijas y móviles en el Gran Mendoza, Informe final peritaje para Fiscalía Federal N°1, (1999).
54. Puliafito, E.: "Linking Carbon cycle with urban air quality". I Urban Regional Carbon Management Conference; Global Carbon Project, Universidad Metropolitana de México, México, (2006).
55. Puliafito, E.: "Emissions and air concentrations of pollutant for urban area sources", VIII Congreso Argentino de Mecánica Computacional, MECOM 2005 Buenos Aires, Argentina 16-18 Noviembre 2005. Asociación Argentina de Mecánica Computacional. en *Mecánica Computacional* Vol. XXIV- Axel E. Larreteguy (Eds.), pp 1389-14088, ISSN 1666-6070. (2005).
56. Puliafito, E.; Rey Saravia, F.; Pereyra, M.; Pagani, M.: Modelación Y Monitoreo de la Calidad del Aire en el Polo Petroquímico de Bahía Blanca, V Congreso Interamericano de la Calidad del aire AIDIS, Santiago de Chile, 14 pps. publicado en CD. (2007).
57. Puliafito, Enrique, Allende, David: Calidad del aire en ciudades intermedias. Proyecciones, Año 5, N.2, Publicación de posgrado e investigación de la F.R. Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, pp. 33-52. (2007).
58. Puliafito, Enrique: "Proceso de urbanización y emisiones de gases de efecto invernadero", I Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería EnIDI, 2005, Mendoza, Argentina 3 - 5 Octubre 2005 Universidad Tecnológica nacional, Universidad Nacional de Cuyo, S. Rivera, J. Nuñez (Eds.), pp 25-32, (2005).
59. Puliafito, Enrique; Quaranta, Nancy (Editores/compiladores), "Contaminación Atmosférica en Argentina. Contribuciones de la II Reunión Anual PROIMCA", 1a ed. Mendoza: Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Mendoza, 2009. ISBN 978-950-42-0119-9 (impreso), ISBN 978-950-42-0120-5, (digital E-Book). 249 páginas. (2009). [http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/investigacion/Libro\\_PROIMCA.pdf](http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/investigacion/Libro_PROIMCA.pdf)

60. Puliafito, S.E., Allende, D.; Fernandez, R.; Castro, F. y Cremades, P.: "New approaches for urban and regional air pollution modelling and management"; in *Air Pollution/ Book 1*, Editorial Intech, ISBN 978-953-307-511-2; En prensa, 2011. Rijeka, Croatia [www.intechweb.org](http://www.intechweb.org)
61. Querol, X., Alastuey, A., Ruiz, C.R., Artiñano, B., Hansson, H.C., Harrison, R.M., Buringh, E., ten Brink, H.M., Lutz, M., Bruckmann, P., Straehl, P., Schneider, J.,: Speciation and origin of PM10 and PM2.5 in selected European cities. *Atmospheric Environment* 38, 6547–6555 (2004)
62. Samaras, Z., Kyriakis, N., Zachariadis, T.,: Reconciliation of macroscale and microscale motor vehicle emission estimates. *Science of the Total Environment* 169, 231–239 (1995)
63. Schlink U., Herbarth O., Richter M., Puliafito J.L., Revwagen M., Puliafito C., Behler J. C., Puliafito E., Ozone-Monitoring in Mendoza, Argentina. Initial Results. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 49, pp 82-87, (1999).
64. Schwartz, J., Dockery, D.W., Neas, L.M.: Is daily mortality associated specifically with fine particles? *J Air Waste Manage Assoc* 46:927–939 (1996)
65. Scire J.S., Strimaitis D.G., Yamartino R.J., A user's guide for the CALPUFF dispersion model (version 5.0). Earth Tech Inc., (2000).
66. Seigneur, C., Pun, B., Pai, P., Louis, J.-F., Solomon, P., Emery, C., Morris, R., Zahniser, M., Worsnop, D., Koutrakis, P., White, W., Tombach, I.,: Guidance for the performance evaluation of three-dimensional air quality modeling systems for particulate matter and visibility. *Journal of Air and Waste Management Association* 50, 588–599 (2000)
67. Seinfeld, J.: *Air pollution, physical and chemical fundamentals*. McGraw-Hill, New York. 1975.
68. SEMARNAT, Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2002, SEMARNAT, Ciudad de México, (2002).
69. Stopher, P.R., (2004): Reducing traffic congestion: a reality check. *Transport Policy* 11 (2), 117–131.
70. Taylor, B.D., (2004): The politics of congestion mitigation. *Transport Policy* 11 (3), 299–302.
71. Tuia, D., Ossés de Eicker, M., Zah, R., Osses, M., Zarate, E., Clappier, A.,: Evaluation of a simplified top-down model for the spatial assessment of hot traffic emissions in mid-sized cities. *Atmospheric Environment* 41, 3658–3671 (2007)
72. USGS, United States Geological Survey <http://www.usgs.gov/pubprod/>
73. USGS Global Land Cover Characterization [http://edc2.usgs.gov/glcc/globdoc2\\_0.php](http://edc2.usgs.gov/glcc/globdoc2_0.php)
74. UTN (2007a): Naftas y gasoil. El transporte por automotor en la argentina. Centro Tecnológico de Transporte Tránsito y Seguridad Vial. Universidad Tecnológica Nacional. <http://www.utn.edu.ar/secretarias/extension/c3naftasygasoil.utn>
75. UTN (2007b): El Transporte Automotor de Cargas en la Argentina. Centro Tecnológico de Transporte Tránsito y Seguridad Vial. Universidad Tecnológica Nacional. <http://www.utn.edu.ar/secretarias/extension/c3tlibro.utn>
76. Vasallo J., XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria Ambiental, 3 to 8 December, Porto Alegre, Brasil, 2000.
77. Vedal, S.: Ambient particles and health: lines that divide. *Journal of Air and Waste Management Association* 47, 551–581 (1997)
78. WHO: Health effects of transport-related air pollution. WHO Regional Publications, Denmark (2005)
79. Willmott, C.J.: Some Comments on the Evaluation of Model Performance. *Bulletin American Meteorological Society*. 63. 1309–1313 (1982)
80. Winston, C., Maheshri, V. (2004): On the social desirability of urban rail transit systems *Journal of Urban Economics* 62, 362–382.
- 81.
82. Zanetti, P.: *Air pollution modeling*. Computational Mechanics Publications, Southampton-Boston. Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
83. Zárate, E., et al., Air quality modelling over Bogota, Colombia: Combined techniques to estimate and evaluate emission inventories, *Atmospheric Environment* 41, 6302–6318, (2007).