



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ESTUDIO COMPARATIVO DE ACTIVIDAD VEHICULAR Y MODELACIÓN  
DE EMISIONES PARA SANTIAGO Y BUENOS AIRES**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL MECÁNICA**

**PILAR HENRÍQUEZ SALAZAR**

**PROFESOR GUÍA:  
MAURICIO OSSES ALVARADO**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
LAURA GALLARDO  
LAURA DAWIDOWSKI**

**SANTIAGO DE CHILE  
DICIEMBRE 2007**

RESUMEN DE LA MEMORIA  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERA CIVIL MECÁNICA  
POR: PILAR HENRÍQUEZ S.  
FECHA: 27 DE DICIEMBRE 2007  
PROF. GUÍA: SR. MAURICIO OSSES A.

## “ESTUDIO COMPARATIVO DE ACTIVIDAD VEHICULAR Y MODELACIÓN DE EMISIONES PARA SANTIAGO Y BUENOS AIRES”

Hoy en día, los centros urbanos se caracterizan por tener gran cantidad de vehículos, los cuales tienen un alto grado de responsabilidad en el deterioro de la calidad del aire presente en muchas de estas ciudades. Reducir la contaminación, producida por las emisiones vehiculares de una región, es un proceso complejo que requiere conocer en detalle y cuantitativamente la actividad vehicular asociada a la localidad en cuestión.

El presente trabajo de memoria tiene como objetivo determinar experimentalmente los patrones dinámicos de la actividad vehicular en Santiago y Buenos Aires, mediante una metodología común, y estimar las emisiones vehiculares asociadas a través de un modelo internacional (IVE, International Vehicle Emissions).

En ambas localidades se aplicó la misma metodología para determinar la actividad vehicular característica de cada ciudad. Se realizaron campañas de medición en terreno en tres sectores socioeconómicos distintos: alto ingreso, bajo ingreso y comercial. Posteriormente, la información generada en las campañas experimentales fue revisada y procesada, para luego ingresarla al modelo IVE y estimar las emisiones diarias y anuales de  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $MP$ ,  $COV$  y gases tóxicos.

Los resultados de este trabajo son, por una parte, determinar la actividad vehicular de Santiago y Buenos Aires, la que contempla composición de flujo vehicular, distribución tecnológica de la flota, distribución de partidas en frío y caracterización de patrones de conducción. Por otra parte, los resultados de emisiones asociadas a dicha actividad vehicular, para Santiago y Buenos Aires, son: 31,8 y 21,7 kTon/día de  $CO_2$ ; 2,9 y 3,6 kTon/día de  $CO$ ; 0,2 y 0,3 kTon/día de  $NO_x$ ; 10,4 y 10,9 Ton/día de  $MP$ ; y 0,2 y 0,3 kTon/día de  $COV$ , respectivamente.

La conclusión general de esta memoria es que se obtuvieron los inventarios de emisión para fuentes móviles en ruta correspondientes al año 2007, para Santiago y Buenos Aires, luego de determinar experimentalmente la actividad vehicular propia de cada localidad. La ciudad de Santiago resultó tener una flota vehicular más numerosa y con mayor actividad que Buenos Aires, pero con menor nivel de emisiones, principalmente debido al mejor estándar tecnológico que posee el parque vehicular de Santiago, en relación a Buenos Aires.

## AGRADECIMIENTOS

Al haber terminado esta etapa, agradezco a mis padres Arnoldo y Luz, por el apoyo, el tiempo y paciencia que me entregaron.

A mis hermanos Marcelo y Javier, por la energía que siempre me transmitieron durante toda mi estadía universitaria y en todos los proyectos que me embarqué durante mi carrera.

También quiero agradecer a Christian, por el apoyo, cariño, comprensión y paciencia que tuvo durante mi última etapa universitaria.

A la comunidad Mecánica, partiendo por el Profesor Mauricio Osses que me dio la oportunidad de realizar este trabajo. A mis compañeros de oficina Nacho y Arié, y a todos los integrantes del departamento de Ingeniería Mecánica que me ayudaron en su momento al desarrollo de mi trabajo de memoria.

Por último, parte de este trabajo fue financiado por el *Inter-American Institute for Global Change Research IAI* (CRN II 2017), el cual es respaldado por el *US National Science Foundation* (Subvención GEO-0452325).

# Índice General

<b>Índice de Figuras</b>	<b>I</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>IV</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes</b>	<b>4</b>
2.1. Inventarios de Emisiones . . . . .	4
2.2. Fuentes Móviles . . . . .	5
2.2.1. Emisiones por el Tubo de Escape . . . . .	7
2.2.2. Emisiones Evaporativas [12] . . . . .	8
2.3. Actividad Vehicular y Emisiones en Fuentes Móviles en Ruta . . . . .	9
2.3.1. Composición de Flujo y Tecnología Vehicular . . . . .	10
2.3.2. Dinámica de Conducción . . . . .	11
2.4. Modelos de Emisiones para la Contaminación Ambiental . . . . .	15
2.5. Diseño del Modelo IVE . . . . .	16
2.6. Recolección de Información de Fuentes Móviles . . . . .	17
2.6.1. Composición de Flujo y Tecnología Vehicular . . . . .	17
2.6.2. Dinámica de Conducción . . . . .	19
2.7. Principio Empleado en el Modelo IVE . . . . .	20
<b>3. Metodología</b>	<b>22</b>
3.1. Recopilación de Información . . . . .	22
3.1.1. Selección de Áreas de Medición . . . . .	23
3.1.2. Procedimiento de Medición . . . . .	25
3.1.3. Desarrollo de Campaña de Actividad Vehicular . . . . .	30
3.2. Procesamiento de Información Recopilada . . . . .	31
3.2.1. Procesamiento de Información de la Campaña . . . . .	31
3.2.2. Procesamiento de Datos para Modelo de Emisiones . . . . .	33
3.3. Estimación de Emisiones . . . . .	35

<b>4. Resultados de Campañas de Actividad Vehicular</b>	<b>38</b>
4.1. Composición de Flujo y Tecnología Vehicular . . . . .	39
4.1.1. Composición Dinámica de la Flota . . . . .	39
4.1.2. Distribución Tecnológica . . . . .	47
4.2. Dinámicas de Conducción . . . . .	55
4.2.1. Distribución de Partidas en Frío . . . . .	55
4.2.2. Patrones de Conducción . . . . .	59
4.3. Características Generales de la Flota Vehicular . . . . .	68
<b>5. Resultados de Modelo de Emisiones</b>	<b>70</b>
5.1. Resultados Generales por Ciudad . . . . .	71
5.2. Aporte de Emisiones por Categorías . . . . .	74
5.3. Evolución Diaria de Emisiones . . . . .	77
5.3.1. Evolución Diaria de Contaminantes en Santiago . . . . .	77
5.4. Inventario Anual de Emisiones Vehiculares . . . . .	83
<b>6. Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>85</b>
6.1. Conclusiones . . . . .	85
6.1.1. Recopilación y Procesamiento de la Información . . . . .	86
6.1.2. Emisiones Vehiculares . . . . .	89
6.2. Recomendaciones . . . . .	91
<b>A. Tipos de Datos de Entrada al Modelo IVE</b>	<b>A-1</b>
A.1. Perfiles de Flujo Vehicular . . . . .	A-1
A.2. Archivos de Flota . . . . .	A-2
A.3. Distribución de Partidas en Frío . . . . .	A-3
A.4. Resultados por Hora de BINS de Potencia . . . . .	A-4
<b>Referencias</b>	<b>B-1</b>

# Índice de Figuras

2.1. Inventarios de Emisiones para la Región Metropolitana, Chile [5]. . . . .	6
2.2. Histograma de “BINS” de Potencia para 3 recorridos distintos: Autopista, Arterial y Residencial [24]. . . . .	14
3.1. Áreas de Estudio en Buenos Aires, Capital Federal. . . . .	24
3.2. Áreas de Estudio en Santiago. . . . .	24
3.3. Grabación de Video Zona Norte, Buenos Aires. . . . .	26
3.4. Grabación de Video Zona Comercial, Santiago. . . . .	26
3.5. Grabación de Video Zona Bajo Ingreso Socioeconómico, Santiago. . . . .	27
3.6. Realización de Encuestas en Buenos Aires. . . . .	28
3.7. VOCE Conectado a Vehículo Particular. . . . .	28
3.8. Entrega de GPS a Moto y Camión, Buenos Aires. . . . .	29
3.9. Entrega GPS a Vehículos que Realizan Circuitos en Áreas de Estudios. . . . .	30
3.10. Esquema de Procesamiento de Información. . . . .	31
3.11. Revisión y Conteo de Videos, Buenos Aires. . . . .	32
3.12. Descarga Información GPS. . . . .	33
3.13. Ejemplo Intefaz de Cálculo de Emisiones Modelo IVE-Buenos Aires, 2007. . . . .	35
3.14. Ejemplo Intefaz de Asiganción de Archivos de Flota, Modelo IVE-Buenos Aires, 2007. . . . .	36

3.15. Ejemplo Intefaz de Archivos de Flota, Modelo IVE-Buenos Aires, 2007. . . . .	37
4.1. Diagrama de Datos Adquiridos en Campañas de Actividad Vehicular (VP:vehículo de pasajero; Au:autopista; Av:avenida; Re:residencial). . . . .	38
4.2. Categorías con mayores porcentajes, en promedio, presentes en Santiago y Buenos Aires. . .	42
4.3. Comparación Categoría de Camiones, en promedio, presentes en Santiago y Buenos Aires. .	43
4.4. Distribución de Tamaños de Motor en Vehículos Encuestados, Buenos Aires. . . . .	48
4.5. Distribución de Kilometraje en Vehículos Encuestados, Buenos Aires. . . . .	48
4.6. Distribución de Edad en Taxis, Buenos Aires. . . . .	49
4.7. Distribución de Tamaño de Buses, Buenos Aires. . . . .	50
4.8. Distribución de Tamaño de Camiones, Buenos Aires. . . . .	50
4.9. Distribución según Peso y Norma de Emisión en Camiones, Buenos Aires. . . . .	51
4.10. Distribución de Buses según Peso el Tamaño, Santiago. . . . .	53
4.11. Distribución según Tamaño y Norma de Emisión en Buses, Santiago. . . . .	53
4.12. Distribución de Camiones según Peso Bruto, Santiago. . . . .	54
4.13. Distribución según Peso y Norma de Emisión en Camiones, Santiago. . . . .	54
4.14. Distribución Encendidos del Motor en Vehículos de Santiago. . . . .	56
4.15. Distribución Encendidos del Motor en Vehículos de Buenos Aires. . . . .	56
4.16. Evolución de Velocidades Medias para diferentes tipos de calles, sector bajo ingreso socioeconómico, Santiago. . . . .	59
4.17. Evolución de Velocidades Medias para diferentes tipos de calles, sector alto ingreso socioeconómico, Buenos Aires. . . . .	60
4.18. Histograma de BINS para Vehículos de Pasajeros en diferentes tipos de calles, Santiago. . .	62
4.19. Histograma de BINS para Vehículos de Pasajeros en diferentes tipos de calles, Buenos Aires.	62

4.20. Histograma de BINS para Vehículos de Pasajeros en Autopistas de Santiago y Buenos Aires. . . . .	64
4.21. Histograma de BINS para Vehículos de Pasajeros en Avenida a dos Horarios, Santiago. . . . .	65
4.22. Histograma de BINS para Camiones de Santiago y Buenos Aires. . . . .	66
4.23. Histograma de BINS para Buses de Santiago y Buenos Aires. . . . .	67
5.1. Esquema de Resultados de Aplicar Modelo IVE. . . . .	70
5.2. Participación de Categorías Vehiculares en las Emisiones Totales de Santiago. . . . .	74
5.3. Participación de Categorías Vehiculares en las Emisiones Totales de Buenos Aires. . . . .	74
5.4. Evolución Diaria de <i>CO</i> , Santiago. . . . .	77
5.5. Evolución Diaria de <i>COV</i> , Santiago. . . . .	79
5.6. Evolución Diaria de <i>NO<sub>x</sub></i> , Santiago. . . . .	80
5.7. Evolución Diaria de <i>MP</i> , Santiago. . . . .	82
5.8. Toneladas Anuales de los Contaminantes más Importantes para Santiago y Buenos Aires. . . . .	84
A.1. Perfil de Flujo Vehicular, Sao Paulo 2004. . . . .	A-1
A.2. Extracto de Distribución de Partidas, Sao Paulo 2004. . . . .	A-3



# Índice de Tablas

2.1. Factores de Corrección de Emisiones Usados en el IVE Model. . . . .	21
3.1. Esquema Diarios de Grabaciones con Cámaras en las Áreas de Estudio . . . . .	25
3.2. Esquema de Recorridos Diarios en las Áreas de Estudio. . . . .	29
4.1. Resumen Composición Vehicular por Zonas y por Jornadas, Santiago. . . . .	40
4.2. Resumen Composición Vehicular por Zonas y por Jornadas, Buenos Aires. . . . .	41
4.3. Factores por Zona y Tipo de Calle utilizados en Santiago. . . . .	44
4.4. Factores por Zona y Tipo de Calle utilizados en Buenos Aires. . . . .	44
4.5. Factores por Tipo de Calle utilizados en Santiago. . . . .	44
4.6. Factores por Tipo de Calle utilizados en Buenos Aires. . . . .	45
4.7. Composición Vehicular Expandida a todo Santiago. . . . .	45
4.8. Composición Vehicular Expandida a todo Buenos Aires. . . . .	46
4.9. Características Generales de Vehículos de Pasajeros, Buenos Aires. . . . .	47
4.10. Distribución Tecnológicas en Vehículos a Gasolina, Buenos Aires. . . . .	48
4.11. Distribución de Kilometraje con respecto al Tamaño del Motor para Vehículos de Pasajeros, Buenos Aires. . . . .	49
4.12. Características Generales de Taxis, Buenos Aires. . . . .	49
4.13. Características Generales de Vehículos Particulares, Santiago. . . . .	52

4.14. Características Generales de Taxis, Santiago. . . . .	52
4.15. Clasificación de Camiones según Peso Bruto. . . . .	54
4.16. Distribución de Eventos Encendidos y Tiempo entre Encendidos del Motor, para Vehículos en Santiago. . . . .	58
4.17. Distribución de Eventos Encendidos y Tiempo entre Encendidos del Motor, para Vehículos en Buenos Aires. . . . .	58
4.18. Información Parque Vehicular, Santiago. . . . .	68
4.19. Información Parque Vehicular, Buenos Aires. . . . .	68
4.20. Comparación de Distribución Estática y Dinámica de la Flota, Santiago. . . . .	69
4.21. Comparación de Distribución Estática y Dinámica de la Flota, Buenos Aires. . . . .	69
5.1. Toneladas Diarias de los Principales Contaminantes por Categoría Vehicular, Santiago. . . .	71
5.2. Toneladas Diarias de los Principales Contaminantes por Categoría Vehicular, Buenos Aires. .	71
5.3. Inventario de Emisiones 2007 para Santiago y Buenos Aires. . . . .	83
5.4. Inventario de Emisiones 2007 para Santiago y Buenos Aires. . . . .	83
A.1. Extracto de Archivo de Flota para Vehículo de Pasajeros, Sao Paulo 2004. . . . .	A-2
A.2. Extracto de Distribución Horaria de BINS de Potencia para Taxis, Sao Paulo 2004. . . . .	A-4

# Capítulo 1

## Introducción

Las tasas de crecimiento vehicular han aumentado rápidamente durante los últimos años, como por ejemplo la ciudad de Santiago, que durante el período 2001-2006 tuvo un crecimiento promedio anual de vehículos motorizados de 4,2 % [1]. Hoy en día, los centros urbanos se caracterizan por tener grandes aglomeraciones de vehículos, y aquellos países que están en vías de desarrollo están experimentando un fuerte aumento en su flota automotriz local [2] [3] [4]. En presencia de esta problemática, se hace necesario entender el funcionamiento del transporte urbano y del impacto medioambiental que origina tanto la flota actual como la futura. Los vehículos propios de un centro urbano son responsables del significativo aumento de la contaminación del aire en los países desarrollados [5]. Muchos de estos países han reconocido que la degradación de la salud y del medioambiente tiene como gran responsable al sector transporte, lo que los ha llevado a controlar las cantidades de emisiones originadas por éste [6].

El proceso de reducir las emisiones vehiculares no es directo. En general, consiste en combinar un conjunto de medidas tales como implementar estándares estrictos de emisiones en vehículos nuevos, mejorar las características de los combustibles empleados, implementar políticas de comportamiento como limitar la conducción en ciertas áreas o días, entre otros. Para decidir en forma correcta y respaldada las políticas regulatorias concernientes al futuro del transporte en una determinada ciudad, es necesario generar un inventario de emisiones actualizado y sofisticado, el cual considere en lo posible el máximo de categorías vehiculares existentes en una determinada región de estudio, que incorpore factores de emisión locales asociados a dichas categorías, que estime emisiones en ruta, por partidas en frío del motor y evaporativas, que considere los patrones de conducción en la ciudad, entre otros; permitiendo identificar las fuentes emisoras y los compuestos contaminantes de mayor interés para la zona afectada y determinar su contribución a la composición regional y global. En el caso del transporte, un inventario de emisiones de fuentes móviles es la herramienta de diagnóstico de uso regular, el cual debe ofrecer desagregación espacial y temporal para

permitir su utilización en modelos de dispersión, que ayudan a determinar dónde y cuánta contaminación debe ser reducida, para alcanzar una calidad de aire compatible con los estándares de salud humana [6].

Actualmente, varios países desarrollados han generado complejos modelos de emisiones, los cuales requieren gran cantidad de datos específicos de entrada, como tipo y cantidad de vehículos de interés, su comportamiento y cantidad de uso en los caminos urbanos, así como las emisiones en distintas condiciones de operación en la ciudad. Todo esto normalmente toma mucho tiempo y dinero, dificultando que todas las regiones puedan implementarlos [7] [8] [9]. Sin embargo, los países subdesarrollados y en vías de desarrollo requieren definir políticas de reducción de emisiones. Como una manera de dar respuesta a lo anterior, en el International Sustainable System Research Center (ISSRC), se ha desarrollado una metodología sencilla de aplicación llamada International Vehicle Emissions (IVE), que permite estimar emisiones vehiculares en ciudades de países en desarrollo. La metodología IVE reúne cuatro tipos de información de los vehículos que operan en las calles de un centro urbano. Estas corresponden a:

- Composición dinámica de la flota
- Distribución de tecnologías vehiculares
- Distribución de partidas en frío del motor
- Patrones de conducción

Esta metodología se ha aplicado exitosamente en varias ciudades del mundo como Shanghai, China; Ciudad de México, México; Pune, India; Sao Paulo, Brasil; entre otros [10]. Bajo el marco del proyecto South American Emissions, Megacities and Climate (SAEMC), el cual desarrolla inventarios de emisiones con el objetivo de preservar los estándares de calidad del aire y del clima, se realiza este trabajo de memoria en donde participan en Santiago, el Centro de Modelamiento Matemático (CMM) y el Departamento de Ingeniería Mecánica (DIMEC), ambos pertenecientes a la Universidad de Chile; y para el caso de Buenos Aires, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). En el desarrollo de este trabajo se quiere determinar las características propias de la actividad vehicular de Santiago y Buenos Aires, para posteriormente estimar las emisiones asociadas. Para lograr esto, se realizan campañas de medición en terreno en ambas ciudades con el objetivo de determinar: composición de flujo vehicular, distribución tecnológica de la flota, distribución de partidas en frío y caracterización de patrones de conducción. Posteriormente, esta información es empleada para estimar las emisiones vehiculares aplicando el Modelo IVE, donde se espera tener resultados de emisiones para los principales contaminantes: monóxido de carbono ( $CO$ ), compuestos orgánicos volátiles ( $COV$ ), óxidos nitrogenados ( $NO_x$ ), material particulado ( $MP$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ).

### **Objetivo General.**

- Determinar experimentalmente los patrones dinámicos característicos de la actividad vehicular en Santiago y Buenos Aires, mediante una metodología común, y estimar las emisiones vehiculares asociadas.

### **Objetivos Específicos.**

Los siguientes puntos se realizarán tanto en Santiago como en Buenos Aires.

- Determinar la partición modal de flujo vehicular, es decir, determinar las categorías vehiculares existentes en cada una de las ciudades consideradas en este trabajo.
- Determinar las características tecnológicas en vehículos livianos y pesados.
- Determinar los patrones de partidas en frío en vehículos de pasajeros.
- Determinar los patrones de conducción en vehículos livianos y pesados.
- Estimar las emisiones vehiculares utilizando modelos existentes.
- Realizar un análisis comparativo entre resultados obtenidos en las dos zonas urbanas bajo estudio.

## Capítulo 2

### Antecedentes

#### 2.1. Inventarios de Emisiones

Para definir estrategias de control en beneficio de la calidad del aire, existe una herramienta útil llamada “inventario de emisiones”. Los inventarios de emisiones corresponden a una recopilación de emisiones estimadas y clasificadas según las diferentes fuentes emisoras. Estas últimas pueden ser de dos tipos:

- Fuente estacionaria
- Fuente móvil

Los inventarios sirven para determinar estrategias de reducción y control de contaminación, para prevenir daños en la salud y vegetación. Dada la cercana relación de emisiones, estrategias de control y salud de la población en general, los inventarios son una herramienta de responsabilidad ambiental, control de tráfico, industrias y población. Disponer de un inventario continuamente actualizado es relevante para dirigir las nuevas políticas que regulen la calidad del aire, lo que implica tener en cuenta el comportamiento dinámico de las fuentes emisoras, es decir, actualizar y determinar periódicamente la información relacionada tanto de las fuentes móviles como fijas de una determinada región.

Las emisiones de un tipo de contaminante (monóxido de carbono, material particulado, etc), generados por algún tipo de fuente emisora (estacionaria o móvil), dependen y varían según múltiples parámetros asociados, por ejemplo, al tipo de fuente, unidad de actividad, tamaño de la fuente, proceso o diseño, edad de la fuente y característica tecnológica, prácticas de mantención y operación, tipo y calidad de materia prima utilizada, tipo-calidad-edad del sistema de control de contaminantes, condiciones ambientales, etc.

Por otra parte, las condiciones ambientales (temperatura, presión, humedad, etc) de una determinada zona de estudio también son relevantes, pues las tasas de emisiones se ven afectadas por éstas. Por ejemplo, la rapidez del viento y/o lluvia afectan las emisiones de material particulado suspendido de carreteras y almacenamientos de materiales, en tanto, la temperatura afecta las emisiones de tráfico en carretera y las emisiones biogénicas (emisiones generadas por la biota) [12].

## 2.2. Fuentes Móviles

Las fuentes móviles, las cuales se centra el presente trabajo, se clasifican en dos tipos principales según el tipo de infraestructura vial que utilicen. Estas son:

- **Fuentes Móviles en Ruta (FMR)**, que corresponden a los vehículos diseñados para circular por los caminos o rutas tradicionales, por ejemplo, buses, camiones, vehículos particulares, vehículos comerciales, motocicletas o taxis.
- **Fuentes Móviles Fuera de Ruta (FMFR)**, o vehículos diseñados para ser utilizados fuera de los caminos tradicionales, por ejemplo, aeronaves, maquinaria agrícola, embarcaciones, entre otros.

En este trabajo se consideran las fuentes móviles en ruta para realizar la estimación de emisiones en las ciudades de Santiago y Buenos Aires, pues la mayoría de las grandes zonas industrializadas y densamente pobladas en el mundo, como son el caso de Santiago de Chile y Buenos Aires de Argentina, muestran al sector transporte (Fuentes Móviles en Ruta) como uno de los principales agentes emisores de contaminantes atmosféricos. En la figura 2.1, se indican los inventarios de emisiones del año 2000 y 2005 en la ciudad de Santiago, graficando el aporte del tipo de fuente en las emisiones de los principales contaminantes. Se observa que para  $CO$  y  $NO_x$  se tiene como principal responsable a las fuentes móviles [5]. La estimación de las emisiones provenientes del sector transporte puede incluir miles y hasta millones de unidades motrices.

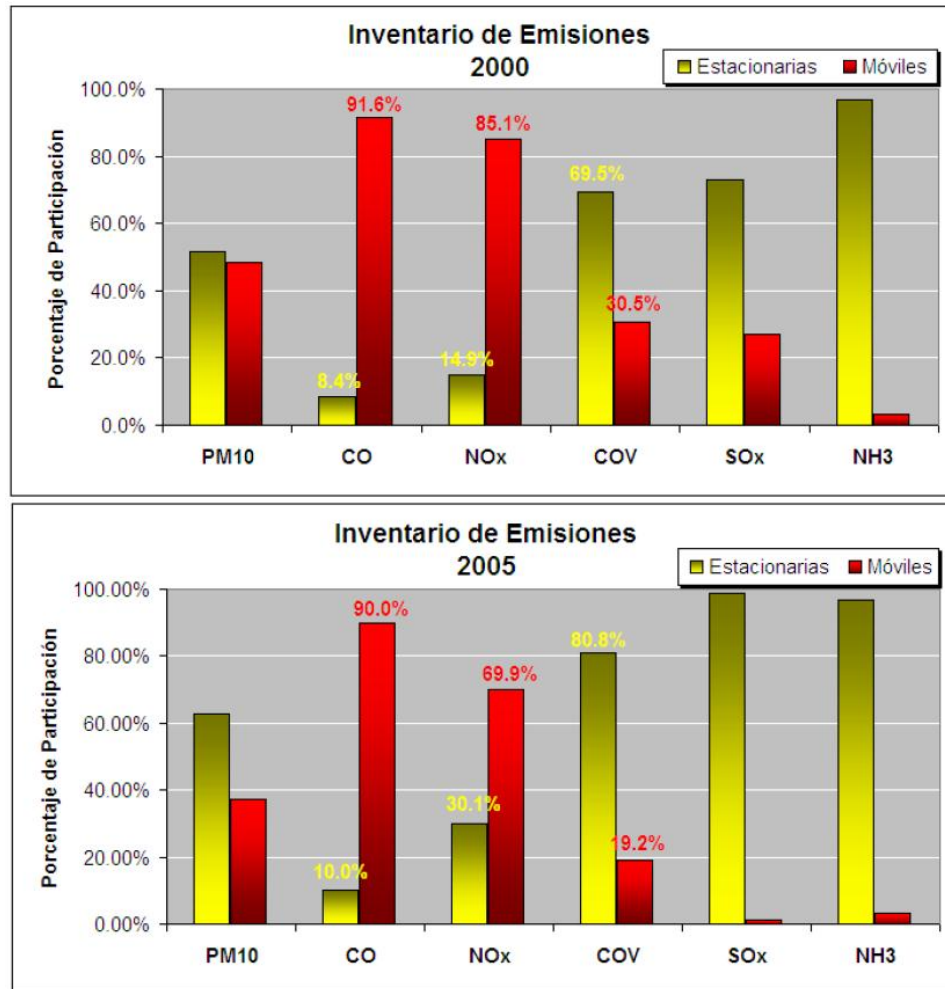


Figura 2.1: Inventarios de Emisiones para la Región Metropolitana, Chile [5].

Las emisiones generadas por fuentes móviles en ruta o emisiones vehiculares, pueden a su vez, ser clasificadas en tres tipos: emisiones por el tubo de escape, emisiones evaporativas y emisiones asociadas al desplazamiento de los vehículos.



### **2.2.1. Emisiones por el Tubo de Escape**

Las emisiones por el tubo de escape tienen su origen en el proceso de combustión interna. En un proceso de combustión ideal y completo, los productos son, esencialmente, dióxido de carbono y vapor de agua. En los motores reales el proceso de combustión no es completo ni ideal, debido a lo cual se generan otros productos tales como monóxido de carbono, hidrocarburos sin quemar, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y material particulado [11], los cuales son descritos brevemente a continuación.

#### **Monóxido de Carbono ( $CO$ )**

Las emisiones de monóxido de carbono son producidas por una combustión incompleta que depende de la riqueza que exista en la razón aire/combustible relativas a la relación estequiométrica, siendo mayores los flujos de  $CO$  a medida que la mezcla sea más rica [13].

#### **Compuestos Orgánicos Volátiles ( $COV$ )**

Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles consisten en combustible no quemado o quemado en forma parcial, que dependen de la riqueza en la mezcla aire/combustible, pues si la mezcla es muy rica (con más combustible que la razón estequiométrica), la falta de aire para completar la combustión generará emisiones de  $COV$  por el tubo de escape [13].

#### **Óxidos Nitrogenados ( $NO_x$ )**

A diferencia de los contaminantes anteriores, la emisiones de  $NO_x$  no se producen por una combustión incompleta, sino que por una reacción ocurrida durante la combustión, donde el nitrógeno atmosférico es atrapado. La formación de  $NO_x$  dependen proporcionalmente de la cantidad de oxígeno en la mezcla aire/combustible y de las altas temperaturas durante la combustión [13].

#### **Material Particulado ( $MP$ )**

Las emisiones de material particulado se componen de un núcleo carbónico sólido rodeado de hidrocarburos, sulfuros, agua y cenizas. Su formación ocurre en el cilindro, a partir de hidrocarburos pesados en fase gaseosa los cuales condensan en zonas deficientes de oxígeno tocadas por el combustible atomizado [13].

Los flujos de los contaminantes descritos anteriormente:  $CO$ ,  $COV$ ,  $NO_x$  y  $MP$ ; se ven afectados por el tipo de tecnología del motor de combustión interna. Los motores Otto, que emplean gasolina como combustible, tienen mayor incidencia en las emisiones de  $CO$  y  $COV$ , debido al exceso de gasolina en la mezcla aire/combustible, pues la escasez de oxígeno en la combustión impide la formación de  $CO_2$  y quemar todo el combustible inyectado, afectando las emisiones de  $CO$  y  $COV$ . Debido a lo anterior, el desarrollo de tecnologías de control en la inyección de combustible para este tipo de motor, es importante en el diseño de vehículos modernos a gasolina. Para el caso de motores diesel, su influencia en las emisiones está asociada a los contaminantes  $NO_x$  y  $MP$ , debido a que en estos motores las temperaturas que se alcanzan en la cámara de combustión son elevadas, favoreciendo la formación de  $NO_x$ ; y la combustión incompleta del diesel incrementa los flujos de  $MP$  [14].

Las emisiones por el tubo de escape se clasifican en aquellas emanadas cuando el motor ya ha alcanzado su condición normal de operación, denominadas “emisiones en caliente”; y en aquellas emitidas mientras el motor aún está frío, denominadas como “emisiones por partidas en frío”, que representan la fracción de emisiones extras con respecto a cuando el motor ha alcanzado su condición normal de operación. Este exceso en las emisiones se debe a que en el arranque de un motor de combustión interna, la mezcla es intencionalmente enriquecida para facilitar la ignición. El efecto de las emisiones en partidas en frío es mayor en aquellos vehículos con convertidor catalítico, pues este dispositivo debe alcanzar temperaturas del orden de  $200^{\circ}C$  a  $370^{\circ}C$  antes de que ocurran las reacciones de reducción ( $NO_x$ ) y oxidación ( $CO$  y  $COV$ ). La temperatura de operación en el convertidor catalítico se logra a partir del calor en los gases de escape y toma un tiempo aproximado de 200 segundos [15].

### 2.2.2. Emisiones Evaporativas [12]

Estas emisiones están asociadas a la evaporación de combustible, haciéndose especialmente significativas al tratarse de vehículos a gasolina. Otro aspecto importante es que las emisiones evaporativas son muy sensibles a los cambios de temperatura ambiente.

Existen 3 fuentes principales de emisiones evaporativas para vehículos:

- **Emisiones Diurnas**, asociadas a las variaciones de temperatura ambiental durante el día, que resultan en la expansión del vapor dentro de los tanques de combustible. Sin un sistema de control adecuado, se ventea hacia la atmósfera el exceso de vapor de combustible. En la noche, cuando la temperatura cae, el vapor se contrae y entra aire al estanque. Esto baja las concentraciones de hidrocarburos en el espacio del vapor, quedando encima de la gasolina líquida, lo cual subsecuentemente lleva a una evaporación adicional.

- **Emisiones por Detenciones en Caliente**, producidas por gasolina que queda en los circuitos de inyección y que se evapora cuando el vehículo está apagado pero con suficiente temperatura.
- **Pérdidas Durante el Recorrido**, las cuales son el resultado del vapor generado en el tanque de gasolina durante la operación del vehículo. Este efecto es más significativo para períodos con elevadas temperaturas ambientales.

### 2.3. Actividad Vehicular y Emisiones en Fuentes Móviles en Ruta

La manera más general de estimar las emisiones  $E$  para fuentes móviles en ruta se señala en la ecuación 2.1:

$$E [\text{masa/tiempo}] = FE * NA * FC \quad (2.1)$$

donde

- FE: factor de emisión, el cual dependerá de la categoría vehicular asociada: camiones, buses, motocicletas, vehículos particulares, vehículos comerciales y taxis.
- NA: nivel de actividad, indicando el número de vehículos por unidad de tiempo, que también dependerá de la categoría vehicular.
- FC: factor de corrección, el cuales está asociados al comportamiento del nivel de actividad vehicular para una determinada región de estudio

De la ecuación 2.1 se observa la importancia de determinar la actividad vehicular de una localidad a la cual se quiera elaborar un inventario de emisiones. Dicha actividad vehicular tiene mucha influencia en las emisiones, tanto en los niveles emitidos, como al tipo de contaminante producido, por lo que resulta indispensable saber cómo está formada la flota local, denominado Composición de Flujo y Tecnología Vehicular; así como también conocer cómo es que se comporta dicha flota, denominado Dinámica de Conducción.

### **2.3.1. Composición de Flujo y Tecnología Vehicular**

Estos factores se relacionan directamente a las características existentes en la flota de una determinada ciudad, discutiéndose a continuación la incidencia que tiene tanto la composición de una determinada flota, dada por las categorías vehiculares existentes; como la influencia de las características tecnológicas de la flota.

#### **Composición Dinámica de la Flota**

La demanda por transporte dentro de la ciudad no está uniformemente distribuida sobre toda la red vial, resultando a veces, en problemas de congestión o en que algunos tipos de demanda presentan condiciones “punta” no esperadas, de manera que la demanda por transporte puede concentrarse en ciertos períodos del día, de la semana o del año muy particulares. Asimismo, la demanda por transporte es una demanda derivada, en el sentido que responde a las necesidades de las personas (ir a trabajar, ir a estudiar, ir a comprar o ir de vacaciones) y las necesidades de los negocios (mover bienes y mercancías). En consecuencia, caracterizar el flujo vehicular en una red vial no es una tarea fácil porque está esencialmente asociada a satisfacer diferentes y complejas necesidades del sistema de actividades de una ciudad que pueden variar temporal y geográficamente [16].

Otro aspecto importante que posee el conocer cómo está compuesta una flota, tiene relación a que los diferentes tipos vehiculares emiten tipos de contaminantes en distintas proporciones, por ejemplo, los vehículos diesel tienen gran incidencia en las emisiones de Material Particulado, así como los vehículos a gasolina tienen gran incidencia en las emisiones de Hidrocarburos. De ahí la importancia de identificar qué tipos de categorías hay presentes en una ciudad y también saber cuál es la proporción existente de cada una de ellas.

#### **Distribución Tecnológica**

Las diferencias en el comportamiento emisor de un vehículo obedecen a factores técnicos relacionados al diseño y tecnología. Estos factores técnicos pueden ser, por ejemplo, el tamaño del motor, tipo de motor, combustible utilizado, sistema de alimentación, sistemas de reducción de emisiones, antigüedad, nivel de mantenimiento, entre otros [12]. En particular, una mayor edad del vehículo causa altas emisiones ya que los sistemas tienden a fallar más frecuentemente y su operación tiende a separarse de las especificaciones de los equipos nuevos. Además, los equipos viejos no toman parte de las ventajas asociadas a las innovaciones tecnológicas, que normalmente tratan de ser cada vez más amistosas con el ambiente, lo cual está incentivado normalmente por las nuevas legislaciones. Los motores vehiculares son un claro ejemplo de la evolución

tecnológica, dadas las legislaciones impuestas en las emisiones de éstos. Otro de estos factores que resulta relevante en las emisiones corresponde a la mantención dada a los vehículos. Un estudio realizado por la EPA (Environmental Protection Agency, U.S.) a 46 vehículos de pasajeros en uso, demostró la influencia que tiene la mantención de los vehículos en las emisiones evaporativas y del tubo de escape, siendo mucho mayores en aquellos vehículos que se encontraban con un alto grado de descuido [17].

### **2.3.2. Dinámica de Conducción**

Saber cómo se mueve la flota de una ciudad significa reconocer factores operacionales como la rapidez de circulación, el nivel de aceleraciones y desaceleraciones, la marcha utilizada, el gradiente topográfico de las vías, la altitud de la región, frecuencias de encendido del motor, tiempo entre encendidos, etc.

#### **Distribución de Partidas en Frío del Motor**

Las emisiones asociadas a encendidos del motor, corresponden a emisiones adicionales que las generadas cuando el motor está funcionando en niveles estabilizados o en caliente. Una de las limitaciones actuales de los vehículos en sus sistemas de control de gases de escapes, es su ineffectividad por un corto período de tiempo después de ser encendido el motor. En el encendido, la mezcla aire/combustible es intencionalmente enriquecida para facilitar la ignición y mejorar la operación en frío del motor [15]. Este enriquecimiento lleva a un aumento en la producción de Monóxido de Carbono y de Hidrocarburos durante la combustión, y limita la oxidación de estos contaminantes en el convertidor catalítico. Además, el convertidor catalítico debe alcanzar temperaturas del orden de 200°C - 370°C, antes de que la conversión de contaminantes sea alcanzada [18] [19]. Una de las estrategias para reducir el tiempo en alcanzar la temperatura de operación del convertidor es ubicarlo cerca del motor del vehículo, ya que los gases de escape de éste son responsables de calentar el convertidor. Por otra parte, largos períodos de tiempo sin encendido del motor o bajas temperaturas ambientales, prolongarán inevitablemente el tiempo de emisiones elevadas en los gases de escape.

De acuerdo a los actuales inventarios de emisiones vehiculares, los encendidos de motores en frío son responsables de un amplio porcentaje del total de las emisiones de Hidrocarburos y Monóxido de Carbono. El modelo de California-U.S. MVEI 7F, estima que las emisiones producidas por los encendidos del motor en frío contribuyen un tercio de las emisiones de Hidrocarburos y Monóxido de Carbono, y un cuarto de las emisiones de Óxidos de Nitrógeno emitidos por vehículos livianos en Los Angeles, durante el verano del año 1991, lo que permite predecir que durante invierno esta contribución puede ser mucho mayor, pues el tiempo que requerirá el motor en operar en caliente sumado al tiempo en que el convertidor catalítico

llegue a la temperatura de operación serán más largos debido a las condiciones ambientales características de invierno [20].

Desde 1997, la EPA ha venido insistiendo en la necesidad de separar estos dos tipos de emisiones y asociar geográficamente las emisiones por partidas con motor frío. En ese año EPA propone que el modelo MOBILE 6 tenga las siguientes cualidades al respecto:

- La magnitud de las emisiones por partidas en frío no dependan de la velocidad o del modo de conducción.
- Que las emisiones por partidas en frío sean consideradas como instantáneas, independiente de las millas conducidas, en unidades de gr/partida.
- Que este tipo de emisiones sea caracterizado por tipo de tecnología y estándares de emisión.
- Que las emisiones por partidas en frío sean ajustadas a un tiempo anterior de reposo al menos de 12 horas.
- Deberán haber ajustes separados para diferentes temperaturas y tipos de combustible.

Actualmente en Chile existe un modelo de estimación de emisiones MODEM, desarrollado para el parque vehicular de Santiago, el cual considera las emisiones por partidas en frío. Además, el modelo empleado para determinar las emisiones en el presente trabajo también considera las emisiones por partidas en frío.

### **Patrones de Conducción**

La velocidad de un vehículo junto con sus eventos de aceleración y desaceleración, tienen un profundo efecto sobre las emisiones del tubo de escape [21] [22], razón por la cual es muy importante estudiar los modos de conducción que representan a una ciudad.

Las variables velocidad, aceleración y desaceleración, se ven influenciados por una serie de factores. Uno de los factores que más influye en los modos de conducción tiene relación con el tipo de calle: autopista, avenida o residencial [22]. Los traslados en el interior de la ciudad resultan en elevados consumos de combustible y, en consecuencia, en aumento de las emisiones vehiculares. Por otra parte, en los trayectos realizados en calles residenciales y autopistas se aprecian consumos menores de combustible y de emisiones. El consumo de un vehículo en la ciudad puede ser el doble del consumo producido en autopistas, debido a que el régimen del motor es mucho más estable en este último caso [22]. Otro factor que determina la conducción es el horario del día, pues en presencia de horarios punta y con alto flujo vehicular, los tiempos de desplazamientos aumentan considerablemente, junto con las tasas de consumos de combustible.

Los modelos conocidos y utilizados comúnmente para estimar emisiones basándose en la velocidad media de un ciclo de conducción determinado. Sin embargo, esto generaliza demasiado el trabajo real que se ejerce sobre el motor, dejando de lado otras variables importantes que influyen en las emisiones. Un estudio realizado en el año 2004 en la ciudad de Chennai-India [23], revela las diferencias en las emisiones obtenidas al utilizar un ciclo de conducción IDC (indean driving cycle), con respecto a la aplicación del Modelo IVE (International Vehicle Emissions). La principal causa de la diferencia fue que el ciclo no era representativo de cómo es la conducción real en esa ciudad. Se observó que la conducción en esta ciudad era más agresiva, reflejado por la frecuencia de eventos de aceleración, desaceleración y velocidad media, lo que se traduce a un mayor impacto en las emisiones. Esto permitió concluir que las actuales legislaciones para controlar la calidad del aire, que estaban basadas en los modelos que utilizaban el IDC, no tenían mayor efecto en la reducción de las emisiones [23].

En respuesta a hechos como el anterior, y entendiendo que la velocidad media de un ciclo de conducción no refleja globalmente la exigencia del motor, se ha desarrollado un modelo que incluye variables en la conducción de velocidad instantánea, aceleraciones, pendiente de la ruta y el estado del motor segundos antes del instante de medición. Este nuevo método logra caracterizar el estado del motor mediante la potencia específica del vehículo (VSP) segundo a segundo, el cual es empleado en el modelo IVE, mencionado anteriormente.

El modelo requiere determinar la velocidad, altura respecto del nivel del mar y la aceleración instantánea del vehículo segundo a segundo. Estas características permiten obtener un valor de la potencia específica del motor (VSP) en cada segundo del trayecto, para luego poder relacionar las emisiones de gases contaminantes a cada grado de exigencia (demanda de potencia) sobre el motor o “bin de potencia”. Así un nivel de emisión es asignado a una potencia específica del motor y no a una velocidad media particular definida por cierto ciclo de conducción.

En la figura 2.1 se observan un histogramas de “BINS” típico de un automóvil que viajó por tres rutas distintas: una residencial, una arterial y una autopista [24].

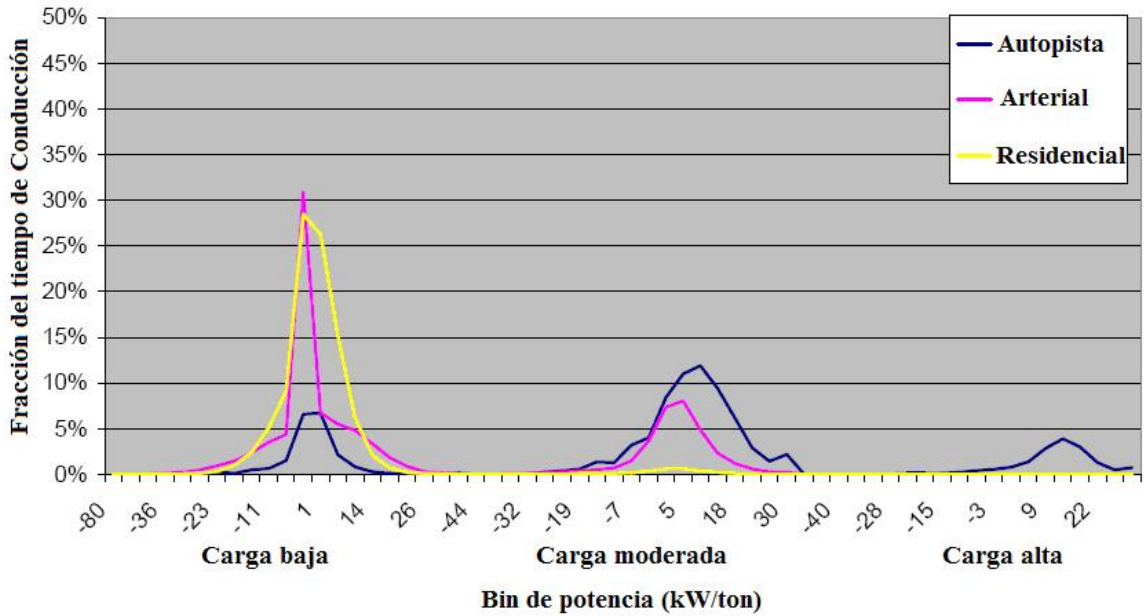


Figura 2.2: Histograma de “BINS” de Potencia para 3 recorridos distintos: Autopista, Arterial y Residencial [24].

En relación al comportamiento de los histogramas, los BINS de potencia del 1 al 11, del 21 al 31 y del 41 al 51 representan el caso de potencia negativa, como por ejemplo, cuando el vehículo desacelera o está bajando por una calle de pendiente negativa. Los BINS 12, 32 y 52 representan una situación de potencia 0 o muy baja, como por ejemplo detener el vehículo frente a un disco pare. Los BINS restantes representan la situación en que el vehículo está usando potencia positiva, como conducir a velocidad constante, acelerar, subir una pendiente, etc. Una carga baja se refiere a condiciones en que el vehículo enfrentó bajas velocidades y aceleraciones en los últimos 20 segundos de operación y las rpm del motor son relativamente bajas. Una carga alta ocurre con altas velocidades y aceleraciones en los últimos 20 segundos de operación y las rpm del motor son altas.



## **2.4. Modelos de Emisiones para la Contaminación Ambiental**

Durante los últimos 15 años se han desarrollado importantes pasos para el desarrollo de inventarios de emisiones. Mediciones de gran escala para mejores factores de emisiones y metodologías mejoradas, han permitido actualizar las estimaciones de emisiones con mayor precisión. Sin embargo, estos resultados refieren principalmente a una nación específica, orientada especialmente para políticas locales [12].

Los inventarios de emisiones están condicionados por la complejidad del territorio. En consecuencia, necesita tomar en cuenta la estructura del terreno, las actividades humanas y las diferencias tecnológicas. Algunas consideraciones para mejorar los inventarios de emisiones atmosféricas son (relativas a las fuentes móviles):

- Colectar y comparar un número de inventarios de emisiones. Analizar y evaluar para distinguir particularidades y definir similitudes.
- Análisis y comparación de patrones específicos de actividad reunida en diferentes áreas (avenidas, autopistas, calles residenciales)
- Desarrollo de factores de emisiones específicos para una zona urbana.
- Desarrollo de estrategias para reducir las emisiones y preparación de escenarios.

En este trabajo se empleará el Modelo IVE para estimar las emisiones y se empleará esta metodología para determinar la actividad vehicular característica de Santiago-Chile y Buenos Aires-Argentina. Bajo este contexto, se darán a conocer aspectos importantes respecto de dicho modelo en las siguientes secciones.

## 2.5. Diseño del Modelo IVE

El modelo IVE cuenta con tres etapas de implementación. La primera corresponde a estudios de actividad vehicular, la segunda a medición de emisiones de vehículos livianos en condiciones reales de operación, y la tercera a medición de emisiones de vehículos medianos y pesados en las mismas condiciones. En el presente trabajo se pretende ejecutar la primera etapa, donde se aplican procedimientos de bajo costo en distintas zonas y calles de cada ciudad durante un período de dos semanas, con el objeto de determinar patrones de conducción (mediante GPS), tipos de vehículo (videos y bases de datos existentes), tecnologías existentes en la flota (encuestas), flujos vehiculares en función de la hora y ubicación de las vías (videos), y partidas en frío de vehículos livianos (autos instrumentados).

La información de entrada al modelo IVE en esta primera etapa se agrupa en tres conjuntos de datos que consisten en: 1) Tecnología del motor, mantención y tipo de inyección de la flota vehicular; 2) características de conducción en diferentes tipos de rutas para vehículos circulando en las calles de la ciudad; y 3) factores de emisiones específicos para los vehículos de la ciudad. Esto último normalmente se toma de las bases de datos que tiene el modelo, pues no todas las ciudades poseen factores de emisiones propios. En las etapas 2 y 3 sí se contemplan factores de emisiones propios. El modelo IVE es similar a los modelos de Europa y U.S., es completo e incorpora muchos factores, categorías vehiculares y tipos de combustibles. Puede ser usado para estimar las emisiones de cualquier flota, a cualquier escala. También es posible predecir emisiones futuras al incorporar cambios en la flota, combustible, flujos vehiculares y congestión.

Para disponer de una herramienta adaptable a cualquier escala internacional, se han incorporado alrededor de 700 tecnologías vehiculares en el modelo IVE. Estas van desde vehículos de dos ruedas hasta camiones pesados, incluyendo combustibles alternativos y diferentes tecnologías de inyección. A cada tipo de tecnología se le asigna una emisión base en ruta y una emisión base por encendido o de partida. Estos factores están por default en el modelo IVE, y poseen información desde U.S. principalmente, Tailandia, China e India. El modelo permite editar información específica de la localidad y modificar las emisiones base que están predefinidas, si es que se tiene una base de factores de emisión local [25].

## **2.6. Recolección de Información de Fuentes Móviles**

Para iniciar el estudio en un centro urbano y poder abarcarlo lo más representativamente, se deben escoger tres áreas con características socio-económicas diferentes. Estas áreas típicamente son una de alto ingreso socioeconómico, una de bajo ingreso socioeconómico y una comercial, que se seleccionan con la colaboración del equipo local que participa en el estudio.

Una vez que se tienen definidas las áreas de estudio en el centro urbano a investigar, los datos importantes de entrada al modelo IVE son:

- Composición de Flujo y Tecnología Vehicular, cuyo fin es determinar cómo está conformada la flota local, pues distintas categorías vehiculares contaminan diferente.
- Dinámica de Conducción, que permite determinar las características de conducción propias de la localidad, pues distintos modos de conducción tienen efectos diferentes en las emisiones, relacionado con las velocidades medias y aceleraciones observadas.

Los autores del modelo han desarrollado una metodología para reunir una gran cantidad de datos iniciales, en un período de 6 días. Esta información es útil para proporcionar un primer orden de estimación en las emisiones de una región específica estudiada. Hay que tener precaución en asegurar una selección representativa de rutas y conductores. Por otra parte, los días de medición también deben ser representativos de un día hábil de la ciudad, dejando fuera días festivos, fines de semana, o aquellos días con condiciones adversas de tiempo. Cualquier observación debe ser registrada durante la recolección de datos, y tomada en cuenta en los análisis finales [25].

### **2.6.1. Composición de Flujo y Tecnología Vehicular**

En muchos lugares del mundo no existe una información acertada de cuáles son las características de la flota vehicular local. Comúnmente los registros de mantención y de inspecciones son erróneos, están desactualizados o sólo reflejan a una porción de la flota total. Es por esto que se han desarrollado técnicas que permiten formar un archivo con las características de la flota local bastante acertados, el cual consiste en un estudio en terreno en las áreas seleccionadas del centro urbano. El estudio en terreno realizado en cada una de las 3 áreas se divide en dos partes: registros con cámaras de videos al tráfico vehicular en distintos tipos de vías (autopistas, avenida y calles residenciales), para reunir la proporción de las distintas categorías vehiculares en circulación; y encuestas tecnológicas a vehículos livianos y pesados realizadas en lugares de estacionamientos .

### **Composición Dinámica de la Flota**

En cada ciudad, se graban nueve calles durante los días de la semana entre las 7:00 y 21:00. Los nueve tipos de calles se seleccionan con la asistencia de los colaboradores locales, eligiendo por cada área anteriormente señalada, una Autopista, una Avenida y una calle Residencial. Las cintas de video serán posteriormente revisadas para determinar la fracción de vehículos de pasajeros, taxis, motos, camiones, buses y otros tipos que sean observados en éstas. Se grabará el tráfico vehicular por cada hora. Este método ha sido usado efectivamente en varias ciudades, otorgando resultados precisos en las áreas de interés cuando se ha comparado con otros métodos como monitoreos de calles y decodificadores automatizados [26] [27]. En esta validación, está demostrado que la flota observada en las nueve calles seleccionadas pueden ser extrapoladas a la ciudad de interés. Sin embargo, no es acertado extrapolar esta información a otras ciudades fuera de la región específica estudiada, pues las diferencias en las flotas normalmente se observan al salir de las zonas urbanas o metropolitanas.

### **Distribución de Tecnologías Vehiculares**

Debido a la amplia variación de tipos de vehículos de pasajeros, buses y camiones que circulan por las calles, es necesario determinar el porcentaje de vehículos que poseen convertidor catalítico, tecnologías específicas de control en el motor, y otros parámetros que respalden las emisiones estimadas. Esta información no puede ser recolectada desde las grabaciones con las cámaras, por lo que se incorpora una encuesta en cada una de las áreas seleccionadas, donde un experto mecánico registra con otra persona, características de los vehículos como tipo de inyección, año del modelo, kilometraje, aire acondicionado, si posee convertidor catalítico, tipo de transmisión y mantenimiento. Se debe tener cuidado en seleccionar lugares que tengan en forma variada los distintos tipos de vehículos, y evitar las calles residenciales, pues los residentes suelen estacionar los autos más viejos en la calle. Para obtener información de buses, camiones y taxis, se puede adaptar el lugar de encuestas a paraderos o, alternativamente, buscar en bases de datos que maneje el gobierno o alguna compañía privada, donde se hacen registros adecuados de los tipos de buses y taxis en la flota, ya que estos poseen estrictas regulaciones y variedades limitadas.

## **2.6.2. Dinámica de Conducción**

El objetivo de realizar esta medición es recolectar segundo a segundo datos de velocidad y aceleración de las principales categorías vehiculares, circulando en un conjunto de caminos representativos durante el día, de la ciudad de interés. Para ello se determinan: patrones de conducción de varias categorías vehiculares, y eventos de encendido o partida en frío. Como parte de las dos semanas de estudio en terreno, se instalan equipos en una muestra de vehículos de la ciudad para entender las condiciones locales de conducción.

### **Patrones de Conducción**

En las nueve rutas seleccionadas deben circular vehículos de pasajeros con GPS instalados. Durante el mismo período, colaboradores locales, equipados con GPS, deberán recorrer en buses la ciudad lo más representativamente posible. También se deben contactar camiones, taxis y motos, todos con GPS instalados, para que circulen por la ciudad. Luego la información procesada genera segundo a segundo archivos de velocidad y aceleración, en varias horas del día. Los GPS están específicamente diseñados para operar en cualquier tipo de vehículo.

La velocidad derivada con GPS ha sido comparada en U.S., contra un vasto monitoreo de tráfico que registra la velocidad del flujo vehicular [28] [29]. Estos experimentos han expuesto una excelente correlación entre los patrones de conducción derivados con GPS y los archivos de conducción locales.

También es importante verificar la certeza del equipamiento utilizado en la recolección de datos, al determinar los patrones de conducción. Existe documentación que indica que el uso de datos con GPS de 1Hz es adecuado para el propósito de determinar segundo a segundo la potencia específica del vehículo (VSP). Estudios adicionales en la Universidad de California, compararon un GPS usado en este estudio, en conjunto con uno que era dos veces más costoso y con una resolución de 10Hz. Al parecer, los primeros 3 segundos de una fuerte aceleración son levemente subestimados por el GPS de 1Hz. Sin embargo, estas variaciones fueron muy raras y no determinaron un impacto notable en los resultados de los patrones de conducción finales. Por otra parte, la U.S. Environmental Protection Agency (EPA) están usando GPS con resoluciones similares a las utilizadas en el estudio, para determinar sus patrones de conducción.

## Distribución de Partidas en Frío del Motor

Para reunir los patrones de encendidos en vehículos, se instalan dispositivos especiales en vehículos particulares, por un período de 5 a 7 días. Estos dispositivos llamados Vehicle Operating Characteristics Enunciators (VOCE), reportan la fecha y la hora del día de cada encendido y apagado, y cuánto tiempo el vehículo se enfrió antes de ser encendido. Normalmente se distribuyen 80 unidades, para así registrar 400 días de operación. Esta información es crítica para determinar en forma acertada las emisiones de partidas en frío, las cuales constituyen un 30%-50% del total de las emisiones en algunas áreas. Los VOCE son de diseño simple y se ha verificado su funcionamiento al compararse con números y tiempos de encendidos actuales, en una variedad de vehículos en U.S.

## 2.7. Principio Empleado en el Modelo IVE

Este modelo computacional está diseñado para estimar las emisiones de los motores vehiculares.

Como se mencionó anteriormente, los componentes críticos usados en el modelo IVE son, en términos de archivos:

- Tasas de emisiones (base de factores de emisiones y factores de corrección)
- Actividad Vehicular (datos de la localidad estudiada)

Lo fundamental en la predicción de emisiones en el modelo IVE es aplicar una base de factores de emisiones (B) con una serie de factores de corrección (K) para estimar la cantidad de contaminación (Q) originada por una cierta categoría vehicular (t). Las emisiones de un vehículo (Q) están en unidades de masa por unidad de tiempo o de distancia [24].

$$Q_{[t]} = B_{[t]} * K_{[t]}^1 * K_{[t]}^2 * K_{[t]}^3 \dots * K_{[t]}^x \quad (2.2)$$

donde:

$B_{[t]}$  = Base de factores de emisiones por cada tecnología (encendido [g] o en ruta [g/km])

$Q_{[t]}$  = Tasa de emisión ajustada por cada tecnología (encendido [g] o en ruta [g])

$K_{[t]}$  = Factores de corrección de emisiones

Los factores de corrección pueden dividirse en diferentes categorías, según se puede ver en la tabla número 2.1.

Tabla 2.1: Factores de Corrección de Emisiones Usados en el IVE Model.

Variabales Locales	Variabales de Calidad de Combustible	Variabales de Potencia y Conducción
T° Ambiente	Gasolina Total	Pendiente de la ruta
Humedad Ambiente	Azufre en Gasolina	Uso de AC
Altitud	Plomo en Gasolina	Distribución de encendidos
Programas de Mantenición/Inspección	Benceno en Gasolina	Potencia Específica del Vehículo VSP
	Oxigenados en Gasolina	
	Diesel Total	
	Azufre en Diesel	

La ecuación 2.4 y 2.5 pondera la emision ajustada por la fracción viajada y el tipo de conducción para cada tecnología. La información de la fracción viajada se obtiene del archivo de datos de la flota observada. El paso final en la ecuación es multiplicar este resultado por la tasa entre el promedio de velocidad del ciclo de conducción de LA4, que está normado, y el promedio de velocidad del ciclo modelado en el estudio; y por último, multiplicar por la distancia recorrida (para emisiones en movimiento) . El resultado es el total de las emisiones en movimiento de la flota completa para la distancia o tiempo asignado. Existen dos tipos de bases de factores de emisiones, una para las emisiones en movimiento y otras para las emisiones al encendido.

$$Q_{enruta} = \frac{\bar{U}_{FTP}}{\bar{U}_C} * D * \sum_t f_t * Q_t * \sum_d [f_{dt} * K_{dt}] \quad (2.3)$$

$$Q_{encendido} = \sum_t f_t * Q_t * \sum_d [f_{dt} * K_{dt}] \quad (2.4)$$

donde:

$Q_t$ = Tasa de emisión ajustada por cada tecnología (encendido [g] o en ruta [g])

$f_t$ = Fracción recorrida por cada tecnología

$f_{dt}$ = Fracción de cada tipo de conducción o apagado del vehículo por cada tecnología

$\bar{U}_{FTP}$ = Velocidad promedio de ciclo de conducción LA4 (una constante [g/km])

$D$ = Distancia recorrida como dato de entrada por usuario en archivo de datos de localidad estudiada

$\bar{U}_C$ =Velocidad promedio de un ciclo específico de conducción, como dato de entrada en archivo de datos de localidad estudiada

## Capítulo 3

# Metodología

### 3.1. Recopilación de Información

Para dar inicio a la recolección de datos en una ciudad, es necesario trabajar en conjunto con alguna institución o agrupación local para definir los sectores a estudiar, de manera de hacer lo más representativa la medición. Además, es necesario que estas personas reúnan al equipo necesario para colaborar en los distintos tipos de actividades a realizar, de modo que se encuentren disponibles al inicio de la campaña.

Idealmente, el equipo local que ayuda a organizar toda la campaña de medición debe tener contactados a los siguientes colaboradores:

- 80 voluntarios para conectar los VOCE durante 7 días.
- Cuatro personas que formen los dos grupos que realizan encuestas, cada uno integrado por un experto mecánico más un colaborador que anote la información entregada por dicho experto.
- Una persona encargada de traspasar la información de las encuestas a las planillas de cálculo.
- Una persona encargada de realizar las grabaciones de flujos vehiculares en los puntos definidos.
- Guardia para la persona que realiza las grabaciones, si se estima conveniente.



- Dos personas dedicadas al conteo de videos.
- Dos personas encargadas de realizar recorridos con GPS en buses dentro de la ciudad.
- Doce taxis y doce camiones que recorran la ciudad con GPS instalados.
- Una moto que recorra la ciudad con GPS instalado.
- 3 conductores de autos particulares para realizar los recorridos por áreas.

En Buenos Aires, el grupo de profesionales que colaboró en esta labor pertenecía a la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). En Santiago, las labores de organización y logística fueron realizadas con la colaboración de personas del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile (DIMEC).

### **3.1.1. Selección de Áreas de Medición**

Se deben seleccionar tres áreas de la ciudad tal que se represente el parque automotriz y la forma de conducir propia de la localidad. La selección debe ser tal que se cuente con un área de bajo ingreso socioeconómico, un área de alto ingreso socioeconómico y un área comercial. A su vez, deben definirse tres tipos de recorridos en cada área: Autopista, Avenida y Residencial. Para definir los recorridos, el criterio que se aplica es que exista un punto adecuado de filmación con la cámara y, por otra parte, que no se necesite mucho tiempo (máximo 20 minutos) en trasladarse desde un recorrido a otro, dentro de un área determinada. Los recorridos se definen tal que se logre completar al menos un ciclo en 40 minutos, en el caso más desfavorable.

Las tres áreas de estudio escogidas en Buenos Aires corresponden a Zona Norte, como área de alto ingreso socioeconómico; al Microcentro, como área comercial; y a Zona Sur, como área de bajo ingreso socioeconómico. Estas tres áreas de estudio pertenecen a Capital Federal, Buenos Aires.

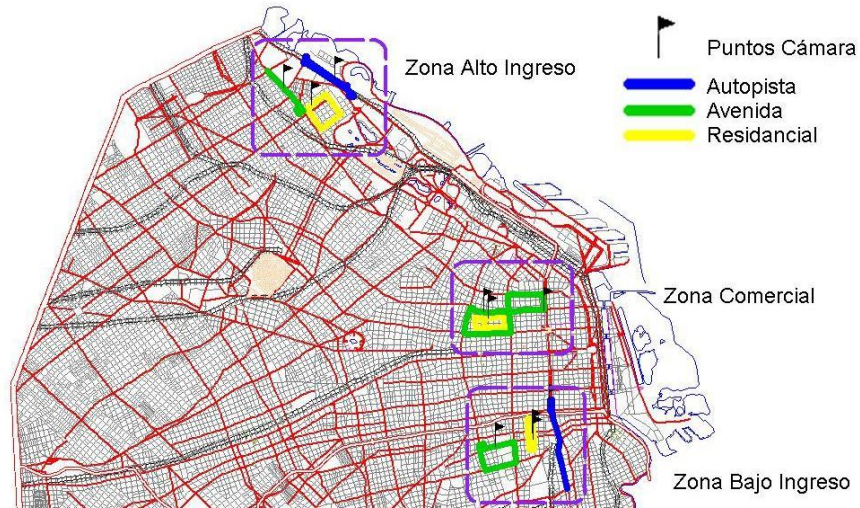


Figura 3.1: Áreas de Estudio en Buenos Aires, Capital Federal.

Para el caso de Santiago, las tres áreas de estudio escogidas corresponden a la Comuna de Vitacura, como área de alto ingreso socioeconómico; a la Comuna de Santiago, como área comercial; y a la Comuna de Maipú, como área de bajo ingreso socioeconómico.

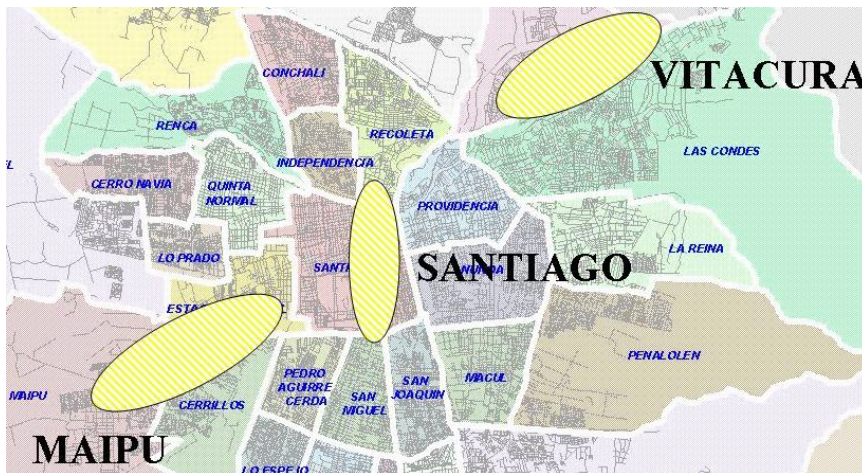


Figura 3.2: Áreas de Estudio en Santiago.

En las selección de Autopistas del área comercial de ambas ciudades, se tuvo que reemplazar por otra Avenida importante, pues en el caso de Buenos Aires, se encontraba un cruce de tren de alta frecuencia, previo al acceso, que entorpecía demasiado el tránsito; y para el caso de Santiago, la presencia de largos tramos bajo nivel, dificultaba el funcionamiento del GPS. Sin embargo, las grabaciones con cámaras de video en Santiago se realizaron igualmente en la autopista existente, pues se disponía de más tiempo para realizar la campaña, no así en Buenos Aires, donde se tuvo que grabar en las mismas calles de los recorridos seleccionados.

### 3.1.2. Procedimiento de Medición

La campaña de medición de actividad vehicular contempla 6 días de recopilación de información representativa de la ciudad, divididos en tres jornadas de mañana (7 a 14 horas) y tres jornadas de tardes (14 a 21 horas). Para lograr este objetivo, se organizan las mediciones de la siguiente manera:

#### Medición de Flujos Vehiculares

Para realizar la medición con la cámara de video, el encargado de grabar se movilizará con los autos que realicen los recorridos, siguiendo un horario análogo al anterior descrito, pero con la salvedad de que se debe ir cambiando de área cada día, como se indica en la tabla número 3.2. La medición también contempla 7 horas, donde se deberán grabar 20 minutos por cada hora de la jornada, en cada tipo de ruta.

Tabla 3.1: Esquema Diarios de Grabaciones con Cámaras en las Áreas de Estudio

Inicio	Fin	Día 1, área 1	Día 2, área 2	Día 3, área 3	Inicio	Fin	Día 4, área 1	Día 5, área 2	Día 6, área 3
7:00	8:00	Autopista	Avenida	Residencial	14:00	15:00	Autopista	Avenida	Residencial
8:00	9:00	Avenida	Residencial	Autopista	15:00	16:00	Avenida	Residencial	Autopista
9:00	10:00	Residencial	Autopista	Avenida	16:00	17:00	Residencial	Autopista	Avenida
10:00	11:00	Autopista	Avenida	Residencial	17:00	18:00	Autopista	Avenida	Residencial
11:00	12:00	Avenida	Residencial	Autopista	18:00	19:00	Avenida	Residencial	Autopista
12:00	13:00	Residencial	Autopista	Avenida	19:00	20:00	Residencial	Autopista	Avenida
13:00	14:00	Autopista	Avenida	Residencial	20:00	21:00	Autopista	Avenida	Residencial



Figura 3.3: Grabación de Video Zona Norte, Buenos Aires.



Figura 3.4: Grabación de Video Zona Comercial, Santiago.



Figura 3.5: Grabación de Video Zona Bajo Ingreso Socioeconómico, Santiago.

### Realización de Encuestas Tecnológicas

Realización de las encuestas en un área por día, por lo que se obtendrán datos tanto de mañana como de tarde por cada área previamente seleccionada. El total de encuestas a realizar por jornada es de 200 diarias, donde 20 de ellas deben ser hechas a taxis. Las categorías vehiculares consideradas para las encuestas con vehículos de pasajeros, vehículos comerciales y taxis. Para las otras categorías se realizan revisiones de bases de datos locales.

Esta actividad considera dos grupos, cada uno formado por dos personas: un experto mecánico y un encargado de completar la información de la encuesta. Los campos que se deben completar son los siguientes:

- Tipo de vehículo: pasajero, comercial, taxis
- Tipo de combustible empleado: gasolina, diesel, gas natural comprimido, etc
- Tamaño del motor
- Marca, modelo, año

- Odómetro, aire acondicionado, tipo de transmisión, tipo de inyección
- Tipo de tecnología de control de gases de escape
- Nivel de mantención



Figura 3.6: Realización de Encuestas en Buenos Aires.

### Registro de Partidas en Frío del Motor

Medición de VOCE: se realiza la entrega de los dispositivos en el día 1 de la campaña y se retiran en el día 6. Los usuarios deben conectar los VOCE en el encendedor de cigarrillos de sus vehículos. Es muy importantes que dichos dispositivos permanezcan conectados hasta el día en que son retirados.



Figura 3.7: VOCE Conectado a Vehículo Particular.

### Medición con GPS

Colaboradores equipados con GPS recorren la ciudad en bus durante 7 horas, tanto en la jornada de mañana como en la de tarde. Entrega diaria de GPS a camiones, taxis y motos que realicen recorridos dentro de la ciudad. Al final del día los equipos deben ser retirados.



Figura 3.8: Entrega de GPS a Moto y Camión, Buenos Aires.

Tres conductores realizarán los recorridos descritos en la sección 3.1.1, cada uno en un área diferente, circulando por períodos de 40 minutos en cada ruta, por cada hora de la jornada correspondiente (mañana o tarde). Los conductores deben manejar siguiendo al flujo vehicular. Los 20 minutos restantes deberán ser empleados en el traslado a la siguiente ruta que toca, y así sucesivamente. El inicio de cada jornada será con un recorrido diferente, como se muestra en la tabla número 3.1:

Tabla 3.2: Esquema de Recorridos Diarios en las Áreas de Estudio.

Área (alto ingreso, bajo ingreso o comercial)									
Inicio	Fin	Día 1	Día 2	Día 3	Inicio	Fin	Día 4	Día 5	Día 6
7:00	8:00	Autopista	Avenida	Residencial	14:00	15:00	Autopista	Avenida	Residencial
8:00	9:00	Avenida	Residencial	Autopista	15:00	16:00	Avenida	Residencial	Autopista
9:00	10:00	Residencial	Autopista	Avenida	16:00	17:00	Residencial	Autopista	Avenida
10:00	11:00	Autopista	Avenida	Residencial	17:00	18:00	Autopista	Avenida	Residencial
11:00	12:00	Avenida	Residencial	Autopista	18:00	19:00	Avenida	Residencial	Autopista
12:00	13:00	Residencial	Autopista	Avenida	19:00	20:00	Residencial	Autopista	Avenida
13:00	14:00	Autopista	Avenida	Residencial	20:00	21:00	Autopista	Avenida	Residencial



Figura 3.9: Entrega GPS a Vehículos que Realizan Circuitos en Áreas de Estudios.

### 3.1.3. Desarrollo de Campaña de Actividad Vehicular

Para generar los datos necesarios en el modelo IVE, la metodología de desarrollo de las campañas de medición estará basada en lo planteado en las secciones anteriores. Particularmente, en Buenos Aires se realizó la campaña de Actividad Vehicular según el modelo IVE, que contempló la estadía de dos semanas en dicha ciudad. En Santiago se realizará esta misma campaña y se pretende incorporar más información en la medición de flujos, por lo que se modificará la toma de datos en los siguientes aspectos:

- Los 9 puntos de medición que considera esta campaña, serán medidos 14 horas, 7 horas en las jornadas de mañana y 7 horas en las jornadas de tarde.
- Se hará una recopilación, procesamiento y análisis de bases de datos de revisiones técnicas y de permisos de circulación, con el fin de obtener la distribución tecnológica de la flota vehicular.
- Los patrones de conducción derivados de buses y camiones serán extraídos de campañas hechas durante el segundo semestre del 2006.



## 3.2. Procesamiento de Información Recopilada

El procesamiento de la información consta de dos etapas, para transformarse en datos de entrada al modelo de emisiones que se utilizará en este trabajo. La figura 3.10 indica un esquema del procedimiento que se aplica a los datos obtenidos de las campañas de medición:



Figura 3.10: Esquema de Procesamiento de Información.

### 3.2.1. Procesamiento de Información de la Campaña

Diariamente se obtendrá la información generada de los cuatro grupos de mediciones descritos anteriormente, proporcionando los siguientes datos:

- Se tendrán 140 minutos de grabación, los cuales deben ser revisados por las personas asignadas a esta labor y, posteriormente, traspasar los resultado a una planillas de cálculo. En la revisión de videos se contemplan 10 categorías: vehículo de pasajeros, vehículo comercial, moto,taxi, bus pequeño, bus mediano, bus grande, camión pequeño, camión mediano y camión pesado. Esta información debe ser ingresada en planillas de cálculo computacionales.



Figura 3.11: Revisión y Conteo de Videos, Buenos Aires.

- Se deben realizar 200 encuestas, que deben ser traspasadas a una planilla de cálculo.
- Se descargan los datos registrados por los VOCE al computador, en donde se debe tener en cuenta que la descarga toma aproximadamente 10 a 15 minutos por dispositivo.
- Todos los recorridos de taxis, buses, camiones, motos y autos particulares tienen conectados un GPS que posee un procesador interno, el cual recopila la información de los recorridos segundo a segundo. Una vez terminada la toma de datos, se retira la memoria y se descarga la información en un computador. Posteriormente, se verifica que los datos estén acordes a lo esperado (no estén dañados y se sigan los recorridos esperados sin pérdida de información). En caso de encontrar fallas que signifique la eliminación de los datos, se debe evaluar la opción de repetir dicha medición.



Figura 3.12: Descarga Información GPS.

Todos los puntos descritos anteriormente se deben realizar en forma diaria, de modo de ir detectando cualquier problema en la toma de datos con los GPS, en la ejecución de las encuestas y en las grabaciones con la cámara de video.

### 3.2.2. Procesamiento de Datos para Modelo de Emisiones

Los cuatro conjuntos de datos recopilados en las campañas de actividad vehicular deben pasar por un segundo procesamiento con el objetivo de dar el formato de información de entrada al modelo de emisiones. A continuación se detalla el proceso de cada uno de los cuatro grupos de datos:

- La información obtenida de la revisión de videos se incorpora en una planilla de cálculo, de modo de obtener perfiles de flujo vehicular diarios por categorías y por tipo de calle. Luego, se debe expandir esta información a toda la ciudad de estudio considerando: fracción de cada tipo de calle presente en cada una de las tres áreas de estudio; y fracción de cada tipo de calle en toda la ciudad (ver Anexo A.1).
- La información tecnológica recopilada tanto en encuestas como en revisión de bases de datos locales, permite generar archivos de flota por categoría vehicular. Para lograr dichos archivos de flota, se dispone de un formato que posee del orden de 1370 categorías vehiculares diferentes. Luego, se debe completar el archivo con los porcentajes correspondientes a lo recopilado en cada categoría vehicular seleccionada. En resumen, la información tecnológica de la flota permitirá generar 5 archivos que servirán de información de entrada al modelo de emisiones. Estos archivos de flota son: vehículos de pasajeros, taxis, motos, buses y camiones (ver Anexo A.2).

- Los archivos descargados de los VOCE son procesados con 3 programas diferentes antes de que puedan servir como información de entrada al modelo de emisiones. Con estos programas se filtran aquellos archivos que tengan información inválida, tales como voltajes notablemente superiores a 13 V o tiempos entre encendidos demasiado largos. De esta forma, el número de la muestra inicial de archivos se va reduciendo. Al término de este procesamiento, se dispone de un archivo que indica el número de eventos encendido por cada hora del día, el tiempo entre encendidos (motor en frío o en caliente) y el promedio de encendidos diarios por vehículo. Este último archivo es la información que sirve de entrada al modelo (ver Anexo A.3).
- Los archivos de GPS de todas las categorías que se midieron, se procesan con un programa que permite distribuir la información (según alturas, velocidades, aceleraciones) en los distintos BINS de potencia. De esta forma se tendrá por cada hora del día, una distribución de BIN de potencia por cada categoría, y en el caso de vehículos de pasajeros, se tendrá además por tipo de calle. Esta información es la que se utiliza en la entrada al modelo de emisiones (ver Anexo A.4).

### 3.3. Estimación de Emisiones

Toda la información de entrada al modelo de emisiones descrita en la sección 3.2.2 se debe incorporar en una planilla maestra. En dicho archivo se ingresan los datos por categorías vehicular de la información recopilada y procesada de videos, VOCE y GPS. Una vez completada la planilla maestra, se corre una macro para obtener archivos por categorías (y por tipo de calle cuando corresponda), que en conjunto con los archivos de flota, forman los datos de entrada al modelo IVE para determinar las emisiones vehiculares.

Con todos los archivos mencionados en el párrafo anterior se está en condiciones de ejecutar el modelo IVE, para estimar las emisiones vehiculares. La interfaz principal del programa se observa en la figura 3.13

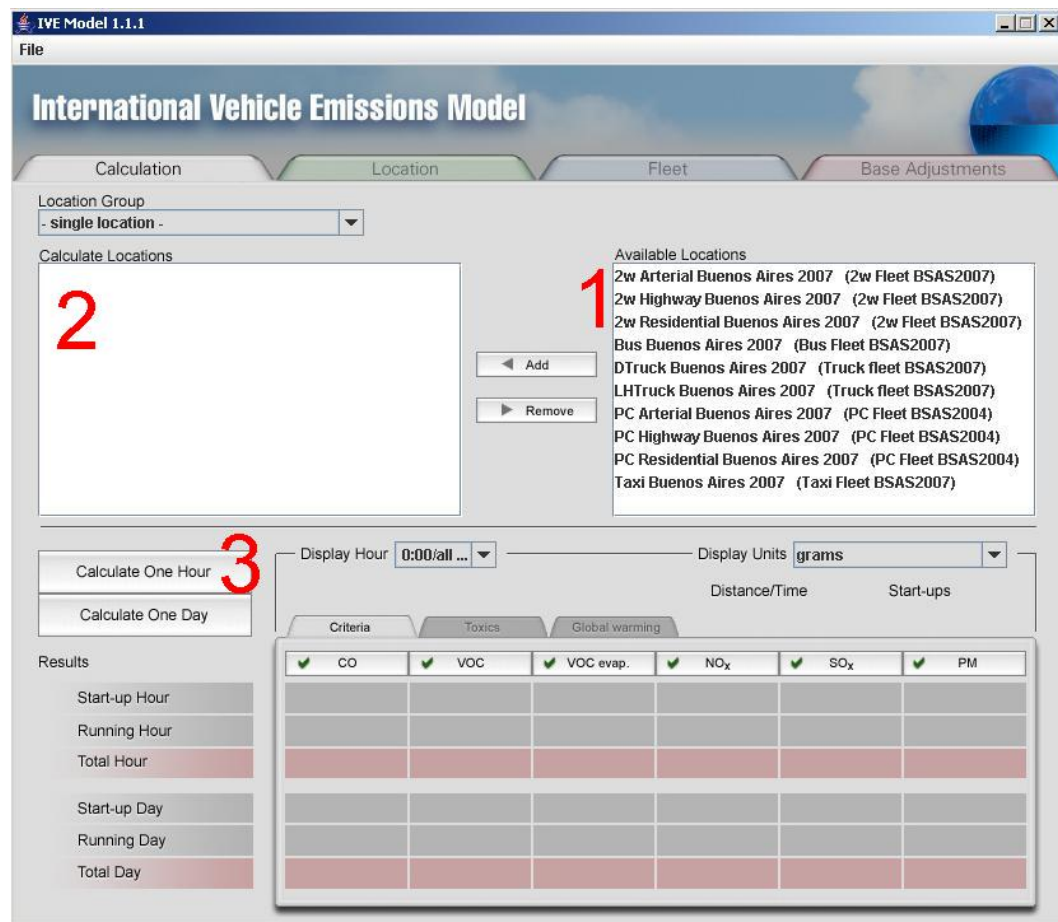


Figura 3.13: Ejemplo Intefaz de Cálculo de Emisiones Modelo IVE-Buenos Aires, 2007.

En la zona indicada con el número 1 se muestran los archivos que se generaron a partir de la planilla maestra, para las diferentes categorías vehiculares, los cuales están agrupados al archivo de flota correspon-



La figura 3.15 muestra cómo resultó la distribución tecnológica de las distintas categorías vehiculares a partir de la creación de los archivos de flota ( ver sección 3.2.2)

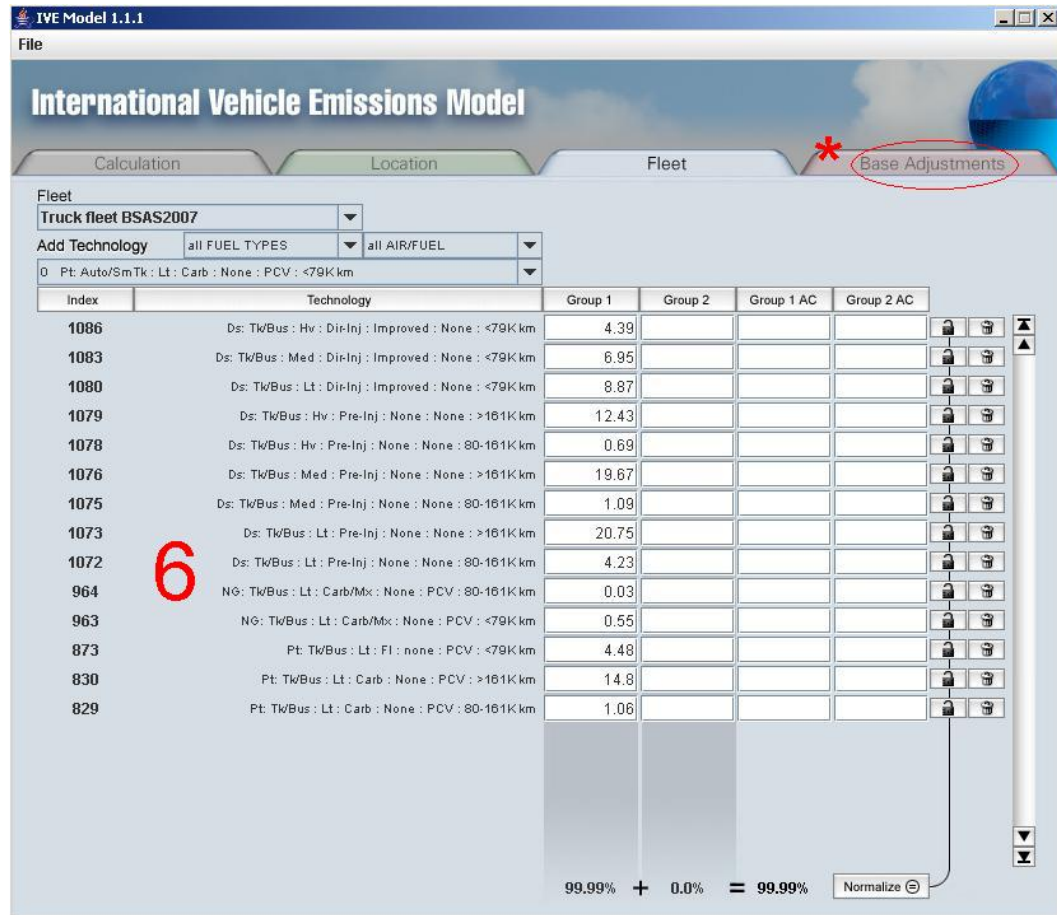


Figura 3.15: Ejemplo Intefaz de Archivos de Flota, Modelo IVE-Buenos Aires, 2007.

\* Esta interfaz (Base Adjustments) sólo se utiliza cuando se dispone de factores de emisiones locales para las distintas categorías vehiculares. En este trabajo se utilizaron los factores de emisiones que tiene el programa por defecto.

## Capítulo 4

# Resultados de Campañas de Actividad Vehicular

A continuación se señalan los resultados obtenidos en las ciudades de Santiago y Buenos Aires, a partir de la realización de las campañas de actividad vehicular basados en la metodología IVE. Dichos resultados se agrupan según el siguiente diagrama:

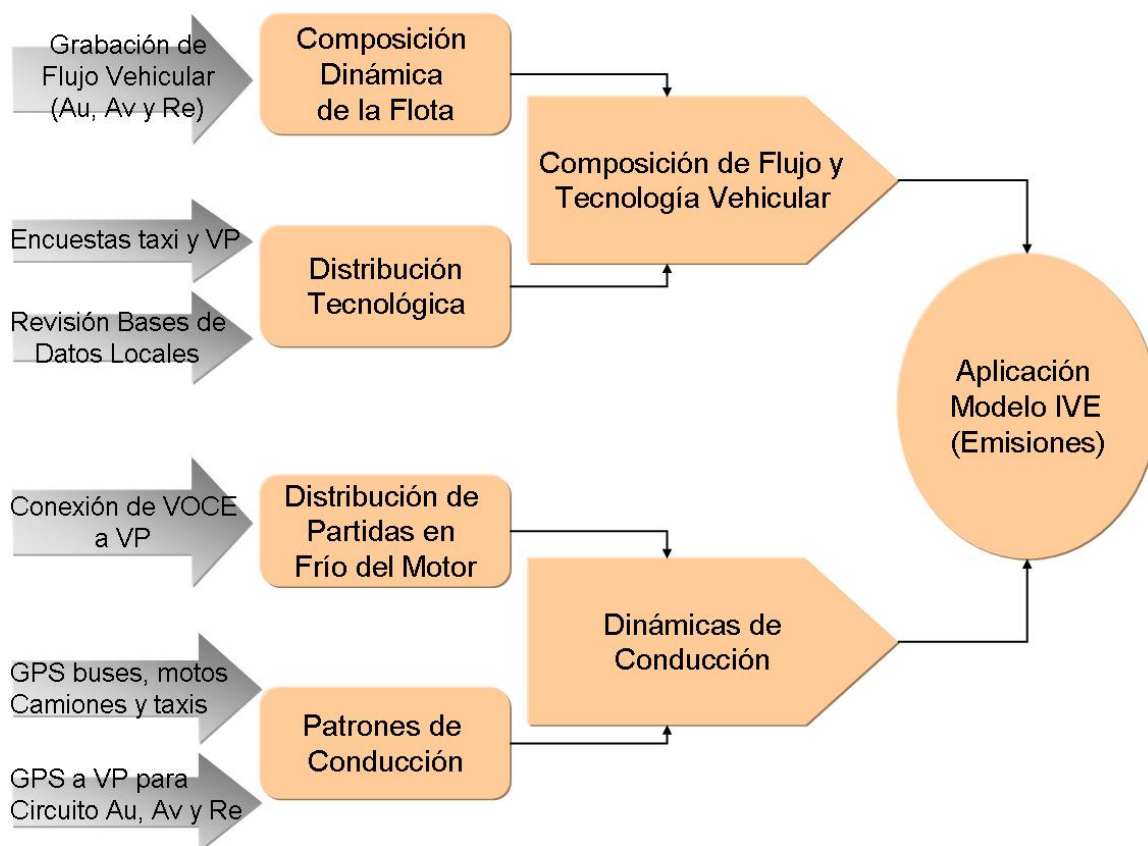


Figura 4.1: Diagrama de Datos Adquiridos en Campañas de Actividad Vehicular (VP:vehículo de pasajero; Au:autopista; Av:avenida; Re:residencial).



## **4.1. Composición de Flujo y Tecnología Vehicular**

En esta sección se señalan los resultados obtenidos para Santiago y Buenos Aires relacionados con la composición de flujo y tecnología vehicular, los cuales corresponden a los datos generados de las grabaciones de flujos vehiculares y a los datos obtenidos de la realización de encuestas tecnológicas, para el caso de Buenos Aires; y de la revisión de bases de datos de Plantas de Revisiones Técnicas y de Permisos de Circulación del año 2006, para el caso de Santiago.

### **4.1.1. Composición Dinámica de la Flota**

En la campaña realizada en Argentina se grabaron en total 840 minutos que, al expandir los 20 minutos que dura cada registro a 1 hora, equivalen a 42 horas de medición del tráfico local. Para el caso de Santiago, y por disponer de más tiempo para realizar la campaña, se tuvo un registro completo del tráfico en los 9 puntos seleccionados para el estudio, donde cada uno de éstos fue grabado desde las 7AM hasta las 9PM, por intervalos de 15 minutos, para cada hora.

En las tablas 4.1 y 4.2 se muestra un resumen de la composición vehicular para las 10 categorías contempladas en el estudio, para las ciudades de Santiago y Buenos Aires, respectivamente. Los datos se encuentran agrupados por zona y por jornada (mañana y tarde), donde cada valor por categoría vehicular resume lo observado en los tres tipos de rutas.

Tabla 4.1: Resumen Composición Vehicular por Zonas y por Jornadas, Santiago.

Zona	Horario [hr]	Vehículo de Pasajeros		Vehículo Comercial		Taxi		Camión Liviano		Camión Mediano		Camión Pesado		Bus Pequeño		Bus Mediano		Bus Grande		Moto	Promedio Veh/hora		
		54,1 %	57,4 %	33,8 %	33,0 %	5,5 %	2,2 %	0,7 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,0 %	0,8 %	0,4 %	0,1 %	0,1 %	0,6 %	0,1 %	0,4 %			2,2 %	1788
Vitacura	7-14																						
	14-21																						
Comercial	7-14																						
	14-21																						
Maipú	7-14																						
	14-21																						
Promedio	7-14																						
Total	14-21																						
Promedio General																							

Tabla 4.2: Resumen Composición Vehicular por Zonas y por Jornadas, Buenos Aires.

Zona	Horario [hr]	Vehículo de Pasajeros		Taxi		Camión Liviano		Camión Mediano		Camión Pesado		Bus Pequeño		Bus Mediano		Bus Grande		Moto	Promedio Veh/hora
		Comercial	9,7 %	8,1 %	1,9 %	0,9 %	0,7 %	0,4 %	2,1 %	0,3 %	0,4 %	1,2 %	0,2 %	4,2 %	0,0 %	3,9 %	2,6 %		
Norte	7-14	73,3 %	9,7 %	8,1 %	1,9 %	0,9 %	0,7 %	0,4 %	2,1 %	0,3 %	0,4 %	1,2 %	0,2 %	4,2 %	0,0 %	3,9 %	2,6 %	3264	
	14-21	79,2 %	7,6 %	4,6 %	0,5 %	1,3 %	0,7 %	0,4 %	1,2 %	0,2 %	0,4 %	1,2 %	0,2 %	4,2 %	0,0 %	3,9 %	4,2 %	3755	
Comercial	7-14	44,5 %	9,7 %	35,4 %	1,4 %	0,7 %	0,2 %	0,0 %	4,2 %	0,0 %	0,0 %	4,9 %	0,0 %	4,9 %	0,0 %	8,0 %	1922	1721	
	14-21	50,4 %	7,6 %	27,8 %	0,9 %	0,3 %	0,1 %	0,1 %	4,9 %	0,0 %	0,1 %	4,9 %	0,0 %	4,9 %	0,0 %	8,0 %	1922	1922	
Sur	7-14	58,9 %	21,1 %	4,7 %	5,8 %	1,7 %	0,0 %	0,6 %	5,0 %	0,1 %	0,6 %	5,0 %	0,1 %	5,0 %	0,1 %	2,2 %	2877	2877	
	14-21	66,8 %	16,7 %	4,1 %	2,8 %	2,2 %	0,9 %	0,2 %	3,8 %	0,1 %	0,2 %	3,8 %	0,1 %	3,8 %	0,1 %	2,5 %	1524	1524	
Promedio	7-14	58,9 %	13,5 %	16,0 %	3,0 %	1,1 %	0,3 %	0,3 %	3,8 %	0,1 %	0,3 %	3,8 %	0,1 %	3,8 %	0,1 %	2,9 %	2621	2621	
Total	14-21	65,5 %	10,6 %	12,1 %	1,4 %	1,3 %	0,6 %	0,3 %	3,3 %	0,1 %	0,3 %	3,3 %	0,1 %	3,3 %	0,1 %	4,9 %	2400	2400	
Promedio General		62,2 %	12,0 %	14,1 %	2,2 %	1,2 %	0,4 %	0,3 %	3,5 %	0,1 %	0,3 %	3,5 %	0,1 %	3,5 %	0,1 %	3,9 %	2511	2511	

De las tablas 4.1 y 4.2 se puede observar que en ambas ciudades las categorías que concentran los mayores porcentajes de vehículos son los vehículos de pasajeros, vehículos comerciales y taxis. La figura 4.2 muestra los valores de manera comparativa para Santiago y Buenos Aires.

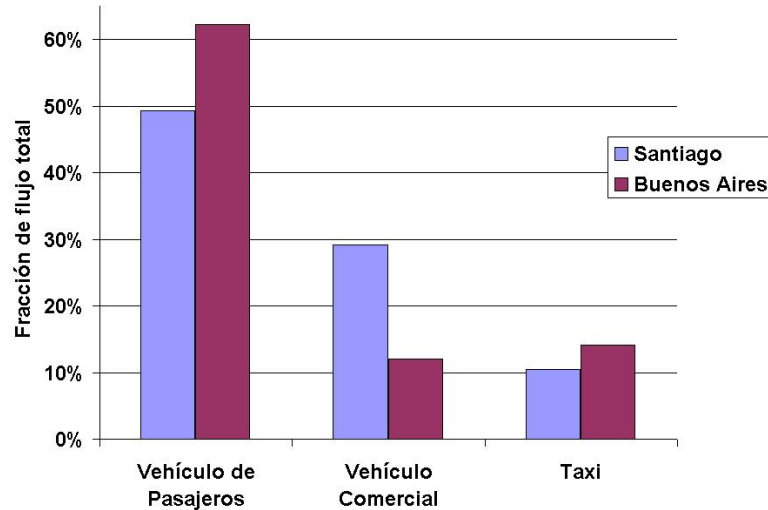


Figura 4.2: Categorías con mayores porcentajes, en promedio, presentes en Santiago y Buenos Aires.

Se observa que en promedio, la proporción de vehículos de pasajeros es mayor para Buenos Aires que Santiago (62 % versus 49 %, respectivamente). Sin embargo, existe una notable diferencia para los vehículos comerciales, donde Santiago tiene en promedio, aproximadamente tres veces más vehículos de este tipo que Buenos Aires (29 % versus 12 %, respectivamente). Este resultado se debe al relativo aumento que existe en Santiago por adquirir vehículos para uso particular y que sean más versátiles, conocidos como SUV (Sport Utility Vehicle), donde se encuentran camionetas, furgones y jeep. Esta tendencia no es observable en Buenos Aires.

Con respecto a los tres tipos de zonas de estudio, de las tablas 4.1 y 4.2 se observa que donde existe mayor porcentaje de vehículos de pasajeros es en Vitacura y Zona Norte para Santiago y Buenos Aires, respectivamente. Estos resultados son consistentes al hecho de ser sectores de alto nivel socioeconómico, donde es común que existan más vehículos por personas para uso particular.

En relación a la tercera categoría con mayor porcentaje de vehículos, correspondiente a taxis, se observa que éstos a su vez se concentran en la zona comercial de ambas ciudades. Estos resultados responden al hecho de que dichas zonas se caracterizan por lo difícil de transitar con vehículos particulares, especialmente al estacionarlos. Sin embargo, el promedio mañana-tarde para la zona comercial de Buenos Aires tiene aprox-

inmadamente el doble de taxis que en Santiago (32 % versus 14 %, respectivamente), lo que responde por una parte, al hecho de que en promedio hay más taxis en Buenos Aires que en Santiago; y por otra parte, al elevado uso de GNC (gas natural comprimido) como combustible, lo que reduce los costos de operación de dicho servicio en Buenos Aires versus la gasolina o diesel en Santiago.

Otro aspecto importante que se observa de las tablas 4.1 y 4.2, es la diferencia que hay con respecto a las tres categorías de camiones, graficado en la figura 4.3.

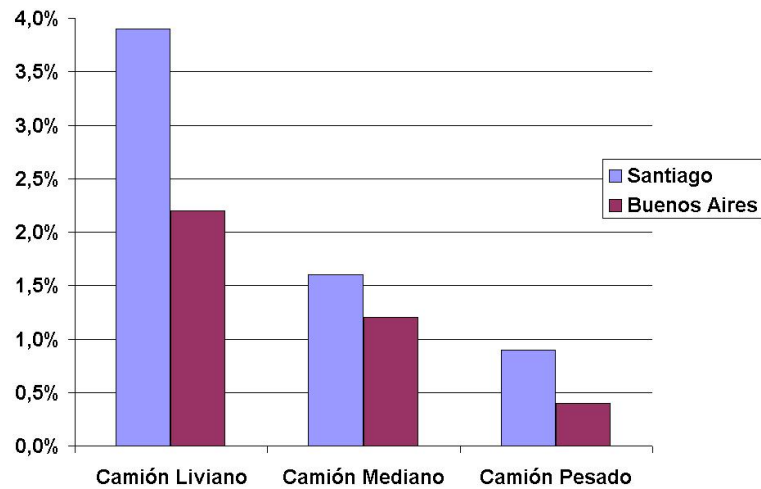


Figura 4.3: Comparación Categoría de Camiones, en promedio, presentes en Santiago y Buenos Aires.

Santiago tiene en general mayor porcentaje de camiones circulando que Buenos Aires. Este comportamiento se explica por la ubicación geográfica de Santiago, pues todo el traslado terrestre de mercancías a lo largo del Chile, hace necesariamente el ingreso de esta categoría, a través de las principales autopistas y avenidas, a la ciudad de Santiago. Este hecho no es observable en la ciudad de Buenos Aires, pues el ingreso de camiones será sólo cuando sea necesario y no obligado por factores geográficos.

Continuando con el procesamiento de la información, para ingresar los datos que se obtienen del chequeo de las grabaciones al modelo de emisiones que se utilizará en este trabajo (Modelo IVE), es necesario determinar cómo se distribuye una categoría vehicular en el transcurso del día. Desde el conteo de videos, se obtiene la información de composición vehicular desagregada por tipo de ruta, para cada hora de medición. Con dicha información se procede a realizar la expansión a todo Santiago y Buenos Aires, teniendo en cuenta la siguiente información:

- Proporción de Autopistas, Avenidas y Calles Residenciales que existen en cada una de las zonas seleccionadas para el estudio. Los factores utilizados se indican en las tablas 4.3 y 4.4, para Santiago y Buenos Aires, respectivamente.

Tabla 4.3: Factores por Zona y Tipo de Calle utilizados en Santiago.

Zona	Factor Autopista	Factor Avenida	Factor Residencial
Vitacura	0,35	0,33	0,3
Comercial	0,4	0,33	0,4
Maipú	0,25	0,33	0,3

Tabla 4.4: Factores por Zona y Tipo de Calle utilizados en Buenos Aires.

Zona	Factor Autopista	Factor Avenida	Factor Residencial
Norte	0,3	0,33	0,33
Comercial	-*	0,33	0,33
Sur	0,7	0,33	0,33

\*En Buenos Aires, la zona comercial no posee autopistas.

- Proporción de Autopistas, Avenidas y Calles Residenciales que existen en la ciudad entera de estudio. Los factores utilizados se indican en las tablas 4.5 y 4.6, para Santiago y Buenos Aires, respectivamente.

Tabla 4.5: Factores por Tipo de Calle utilizados en Santiago.

Tipo de Calle	Factor
Autopista	0,25
Avenida	0,25
Residencial	0,5

Tabla 4.6: Factores por Tipo de Calle utilizados en Buenos Aires.

Tipo de Calle	Factor
Autopista	0,2
Avenida	0,3
Residencial	0,5

Al realizar el procedimiento anterior se obtiene la información final para entrada al modelo, que indica cómo es la proporción diaria para cada categoría vehicular, como lo indica la tabla número 4.7 y 4.8, para cada ciudad:

Tabla 4.7: Composición Vehicular Expandida a todo Santiago.

HORAS	VP	VP	VP	Motos	Motos	Motos	Taxis	Buses	Camión Med/Pes*	Camión Liviano
	Autopista	Residencial	Avenida	Autopista	Residencial	Avenida				
0 A 1	1%	1%	0%	1%	0%	1%	1%	1%	1%	1%
1 A 2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%
2 A 3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%	1%
3 A 4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	2%
4 A 5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%
5 A 6	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	3%	2%
6 A 7	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	2%	2%
7 A 8	10%	6%	4%	9%	4%	6%	5%	7%	4%	3%
8 A 9	9%	8%	6%	8%	5%	7%	8%	6%	6%	5%
9 A 10	6%	5%	5%	6%	9%	7%	6%	34%	12%	7%
10 A 11	5%	5%	6%	5%	21%	4%	7%	5%	8%	9%
11 A 12	6%	5%	6%	8%	7%	10%	8%	3%	7%	8%
12 A 13	6%	6%	7%	6%	2%	11%	7%	3%	13%	8%
13 A 14	5%	7%	7%	4%	3%	7%	6%	3%	12%	11%
14 A 15	5%	5%	6%	4%	6%	6%	5%	4%	5%	7%
15 A 16	6%	5%	5%	4%	9%	3%	6%	4%	2%	7%
16 A 17	6%	8%	6%	4%	1%	5%	10%	5%	4%	7%
17 A 18	6%	6%	7%	6%	7%	6%	8%	4%	8%	5%
18 A 19	7%	7%	8%	9%	3%	9%	7%	7%	1%	6%
19 A 20	7%	9%	7%	9%	10%	9%	4%	4%	3%	5%
20 A 21	6%	7%	6%	6%	5%	3%	4%	4%	2%	2%
21 A 22	5%	6%	5%	5%	4%	3%	3%	3%	0%	0%
22 A 23	2%	3%	2%	2%	2%	1%	2%	2%	0%	0%
23 A 0	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

\*Med/Pes: Mediano/Pesado

De la tabla 4.7 se observa que para la categoría de buses, existe un máximo en el perfil de flujo entre las horas 9 y 10, con un valor de 34%. Esta cifra indica que aproximadamente un tercio de los buses de Santiago circulan entre 9 y 10 horas, lo que parece ser una cifra que no representa la realidad de Santiago a esas horas. La explicación de esta cifra se puede encontrar en la selección de la avenida del sector comercial (Av. Libertador Bernardo O'Higgins), la cual tiene alta circulación de buses debido a que esta calle es una de las arterias principales que recorre Santiago de poniente a oriente, y que no necesariamente representa la situación de todas las avenidas de Santiago. Las consecuencias que traerá este máximo en el perfil de flujo de buses será directo en las emisiones de  $MP$  y  $NO_x$ , debido a la combustión de diesel que caracteriza esta categoría.

Tabla 4.8: Composición Vehicular Expandida a todo Buenos Aires.

HORAS	VP	VP	VP	Motos	Motos	Motos	Taxis	Buses	Camión	Camión
	Autopista	Residencial	Avenida	Autopista	Residencial	Avenida			Med/Pes*	Liviano
0 A 1	1%	1%	1%	1%	0%	0%	1%	1%	1%	2%
1 A 2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%
2 A 3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%
3 A 4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%
4 A 5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4%	3%
5 A 6	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	5%
6 A 7	2%	3%	2%	2%	0%	0%	2%	2%	8%	5%
7 A 8	8%	9%	8%	6%	0%	1%	8%	8%	8%	5%
8 A 9	7%	5%	6%	5%	0%	1%	7%	8%	5%	5%
9 A 10	7%	5%	6%	5%	1%	3%	7%	7%	5%	6%
10 A 11	6%	5%	6%	6%	2%	5%	6%	6%	4%	6%
11 A 12	6%	6%	5%	7%	3%	7%	5%	6%	5%	6%
12 A 13	6%	5%	5%	9%	4%	8%	5%	6%	5%	5%
13 A 14	6%	6%	5%	8%	3%	9%	4%	5%	5%	5%
14 A 15	6%	6%	5%	8%	3%	10%	4%	5%	5%	6%
15 A 16	6%	5%	6%	8%	4%	12%	4%	5%	7%	6%
16 A 17	6%	7%	6%	8%	4%	10%	6%	5%	9%	6%
17 A 18	7%	7%	8%	9%	4%	8%	10%	7%	12%	6%
18 A 19	7%	8%	9%	6%	19%	7%	12%	7%	6%	6%
19 A 20	6%	7%	8%	4%	17%	6%	8%	6%	2%	5%
20 A 21	5%	6%	6%	2%	16%	4%	4%	6%	1%	3%
21 A 22	4%	5%	5%	2%	13%	3%	4%	4%	1%	2%
22 A 23	2%	2%	2%	1%	6%	2%	2%	2%	1%	2%
23 A 0	1%	1%	1%	1%	0%	0%	1%	1%	1%	2%
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

\*Med/Pes: Mediano/Pesado



De las tablas 4.7 y 4.8 se puede observar los horarios punta, donde aumenta la actividad para ambas ciudades. En particular, los vehículos de pasajeros tienen los máximos valores (horarios puntas) entre 7 y 9 horas, para la mañana; y entre 18 y 20 horas, para la tarde.

#### 4.1.2. Distribución Tecnológica

A continuación se señalan los resultados obtenidos del análisis a las encuestas hechas en Buenos Aires y del análisis a las bases de datos de Revisiones Técnicas y Permisos de Circulación en Santiago. Toda esta información será utilizada para completar los archivos de flota de cada ciudad, los cuales requeridos por el Modelo IVE, para estimar las emisiones.

#### Distribución Tecnológica de Flota en Buenos Aires

En esta sección se encuentran los resultados para vehículos particulares y taxis, obtenidos directamente del análisis de encuestas. Para la categoría de buses, la información fue proporcionada por la Comisión Nacional de Regulación del Transporte (CNRT); y para la categoría de camiones, la información fue dada por la Dirección Nacional de los Registros de la Propiedad del Automotor y Créditos Prendatarios (DNRPA), ambas entidades existentes en Argentina.

##### ■ Vehículos de Pasajeros

De los 1128 vehículos de pasajeros encuestados durante la campaña realizada en Buenos Aires, se indican en la tabla 4.9, algunas características generales observadas de la flota:

Tabla 4.9: Características Generales de Vehículos de Pasajeros, Buenos Aires.

Tipo Combustible	Aire Acondicionado (AC)	Transmisión	Convertidor Catalítico (CC)**
Gasolina 64,8 %	58 % con AC	97,9 % Mecánica	39,6 % sin CC
Diesel 13,3 %	42 % sin AC	2,1 % Automática	60,4 % con CC
GNC* 21,9 %			

\*Gas Natural Comprimido

\*\* Considerando solo vehículos a gasolina, serían 28,5 % sin CC y 71,5 % con CC

Con respecto a las tecnologías de inyección del combustible en los vehículos a gasolina y del control de los gases de escape, la tabla 4.10 describe cual fue la distribución observada:

Tabla 4.10: Distribución Tecnológicas en Vehículos a Gasolina, Buenos Aires.

Tipo de Inyección	Vehículos a Gasolina sin CC	Vehículos a Gasolina con CC
Carburador	26,3 %	7,4 %
Mono Punto	1,2 %	7,4 %
Multipunto	1,0 %	56,8 %

La distribución de tamaños de motor observados en la flota encuestada y el uso de los mismos, se encuentran detalladas en las figuras 4.4 y 4.5:

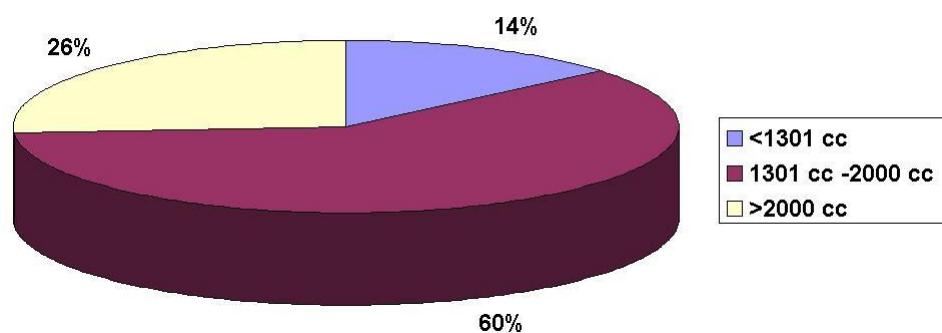


Figura 4.4: Distribución de Tamaños de Motor en Vehículos Encuestados, Buenos Aires.

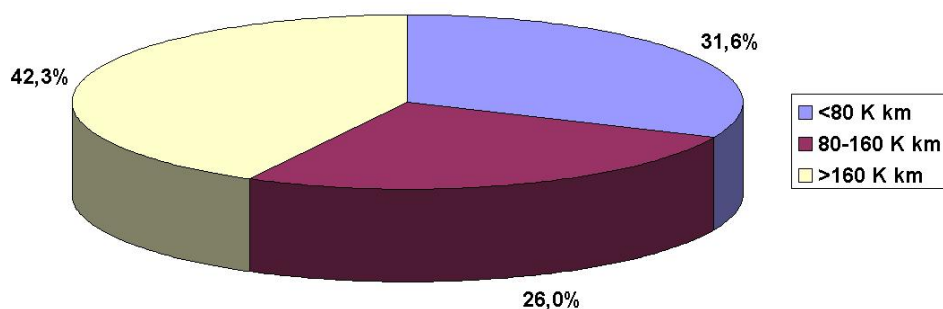


Figura 4.5: Distribución de Kilometraje en Vehículos Encuestados, Buenos Aires.

Tabla 4.11: Distribución de Kilometraje con respecto al Tamaño del Motor para Vehículos de Pasajeros, Buenos Aires.

	Menor a 80 K km	80-160 K km	Mayor a 160 K km
Menor a 1300 cc	53,5 %	9,6 %	36,9 %
1300 cc -2000 cc	23,3 %	27,4 %	49,5 %
Mayor a 2000 cc	17,1 %	7,2 %	76,0 %

■ **Taxis**

De los 96 taxis encuestados durante la campaña realizada en Buenos Aires, se indican en la tabla 4.12 algunas características generales observadas de la flota:

Tabla 4.12: Características Generales de Taxis, Buenos Aires.

Tipo Combustible	Aire Acondicionado (AC)	Tamaño del Motor	Convertidor Catalítico (CC)**
Gasolina 1 %	80 % con AC	1300 cc -2000 cc 89 %	81 % sin CC
Diesel 14 %	20 % sin AC	Mayor a 2000 cc 11 %	19 % con CC
GNC* 85 %			

\*Gas Natural Comprimido

La distribución de la edad de la flota de taxis encuestadas se puede apreciar en la figura 4.6:

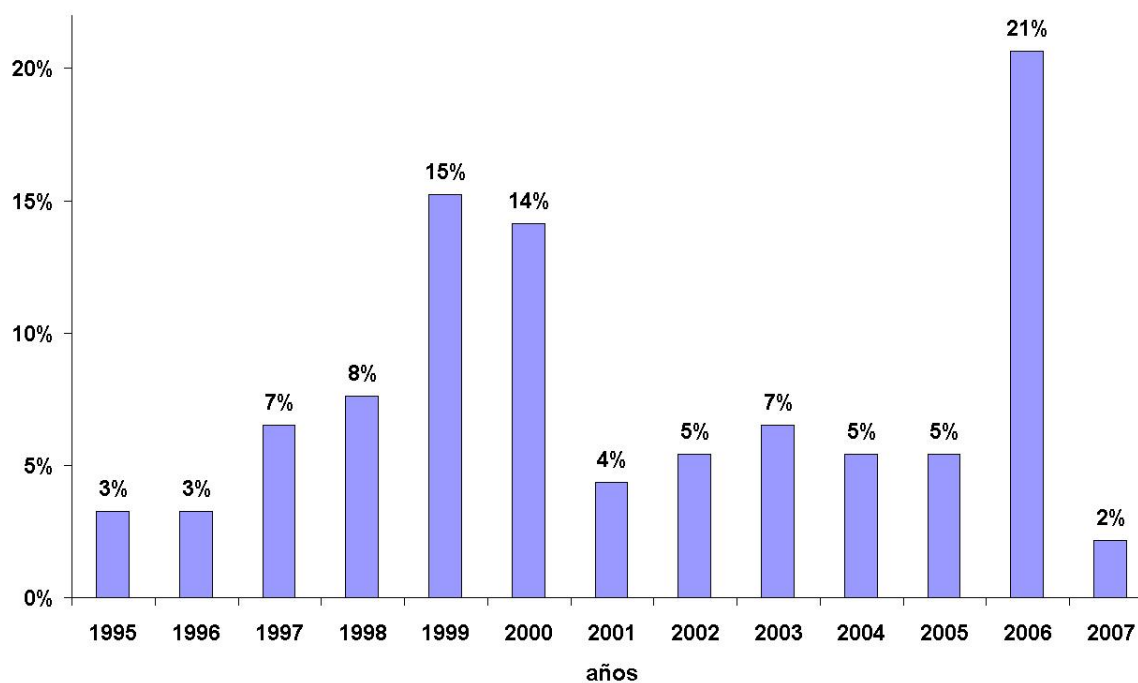


Figura 4.6: Distribución de Edad en Taxis, Buenos Aires.

■ **Buses**

La información tecnológica de los buses en Buenos Aires se obtuvo desde el BOLETIN 11 de la CNRT (2006), donde se manifiesta que la flota de buses que circula en Capital Federal son EURO II. La distribución por tamaño se muestra en la figura 4.7:

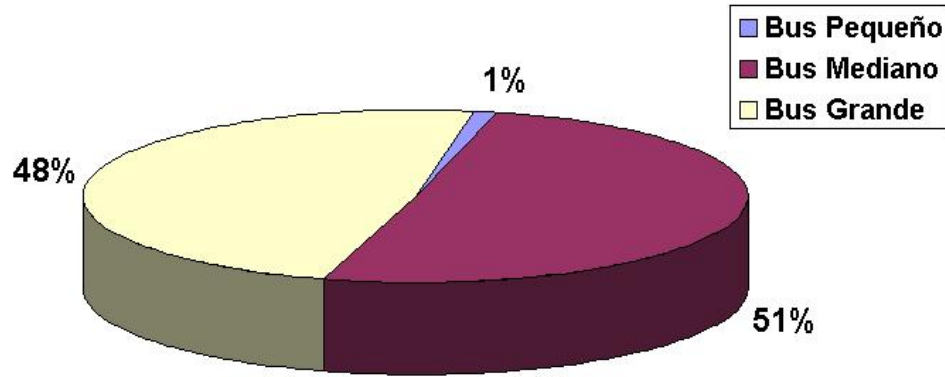


Figura 4.7: Distribución de Tamaño de Buses, Buenos Aires.

■ **Camiones**

La información tecnológica de camiones en Buenos Aires se obtuvo del registro de la DNRPA del año 2006, donde se obtuvo la siguiente distribución por tamaño indicada en la figura 4.8:

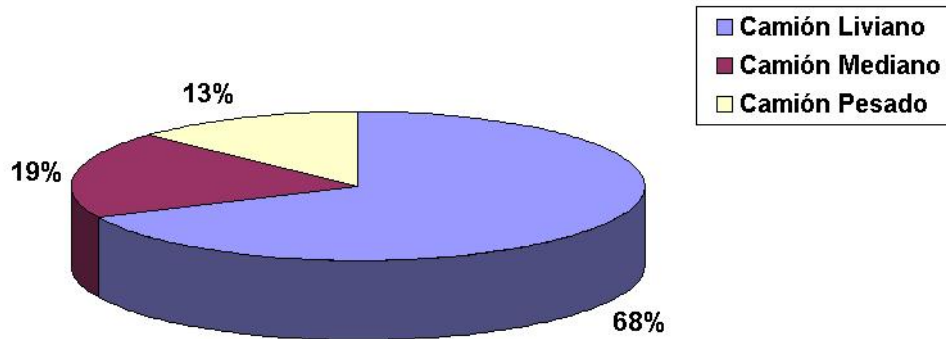


Figura 4.8: Distribución de Tamaño de Camiones, Buenos Aires.

A su vez, los distintos tipos de camiones se distribuyen tecnológicamente según la norma de control de gases de escapes que éstos cumplen, señalada en la figura 4.9:

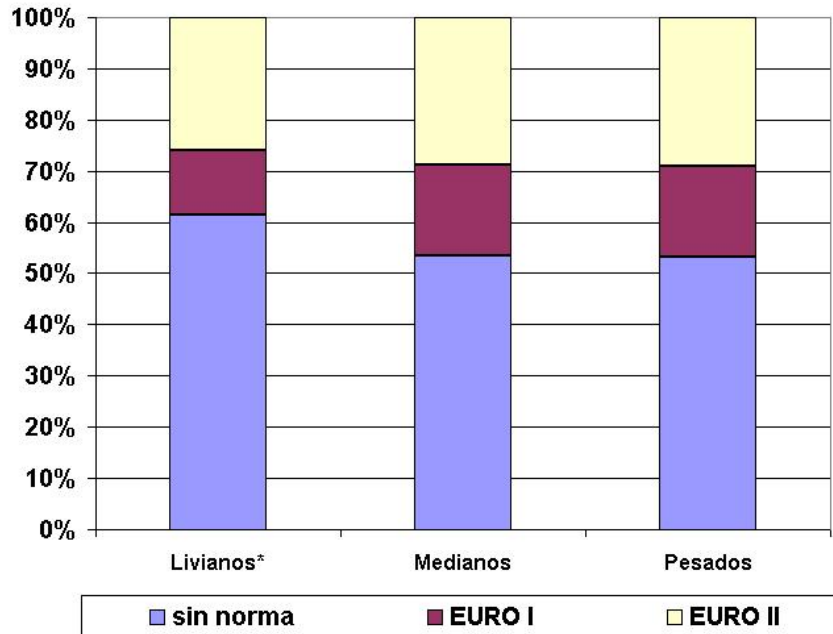


Figura 4.9: Distribución según Peso y Norma de Emisión en Camiones, Buenos Aires.

\*Los camiones livianos considerados en la figura 4.9 corresponden solamente a los que utilizan diesel como combustible, pues en esta subcategoría hay un 62 % a diesel, un 37 % a gasolina y un 0.1 % a GNC.

## Distribución Tecnológica de Flota en Santiago

En esta sección se encuentran los resultados de analizar las bases de datos de Plantas de Revisión Técnica que proporciona el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT); y de las bases de datos de Permisos de Circulación en Santiago, reunidas por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE). Ambas fuentes de información fueron generadas el año 2006.

### ■ *Vehículos de Pasajeros*

La distribución presente en los vehículos de pasajeros de Santiago, con respecto al tipo de combustible empleado y a la norma de control de gases de escape que éstos cumplen, se muestra en la tabla 4.13:

Tabla 4.13: Características Generales de Vehículos Particulares, Santiago.

Tipo Combustible		Sin Convertidor Catalítico	EPA91	EURO III / EPA98	EURO IV
Gasolina	93 %	16,8 %	75,3 %	1,7 %	-
Diesel	7 %	-	6,0 %	0,2 %	0,1 %

### ■ *Taxis*

La distribución presente en los taxis de Santiago, con respecto al tipo de combustible empleado y a la norma de control de gases de escape que éstos cumplen, se muestra en la tabla 4.14:

Tabla 4.14: Características Generales de Taxis, Santiago.

Tipo Combustible		Sin Convertidor Catalítico	EPA91	EURO III / EPA98	EURO IV
Gasolina	97 %	0 %	79 %	18 %	-
Diesel	3 %	-	1,6 %	1 %	0,4 %

■ **Buses**

La distribución presente en los buses de Santiago, con respecto a su tamaño, se muestra en la figura 4.10:

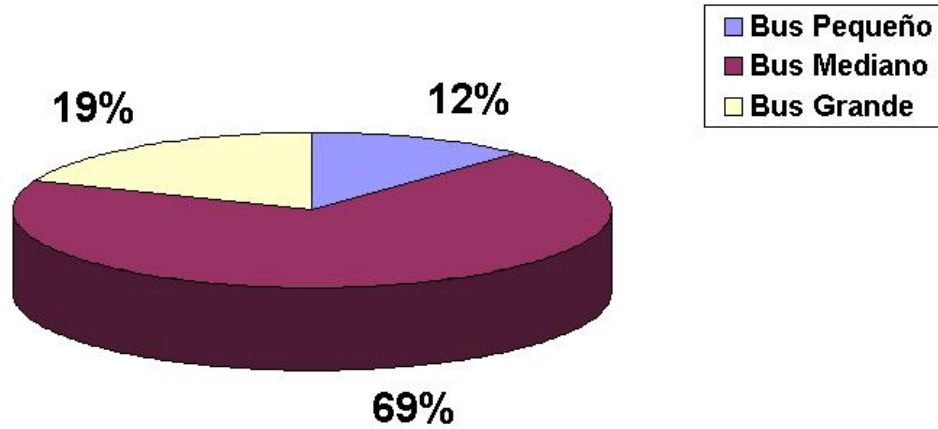


Figura 4.10: Distribución de Buses según Tamaño, Santiago.

A su vez, los distintos tipos de buses se distribuyen tecnológicamente según la norma de control de gases de escapes que éstos cumplen, señalada en la figura 4.11:

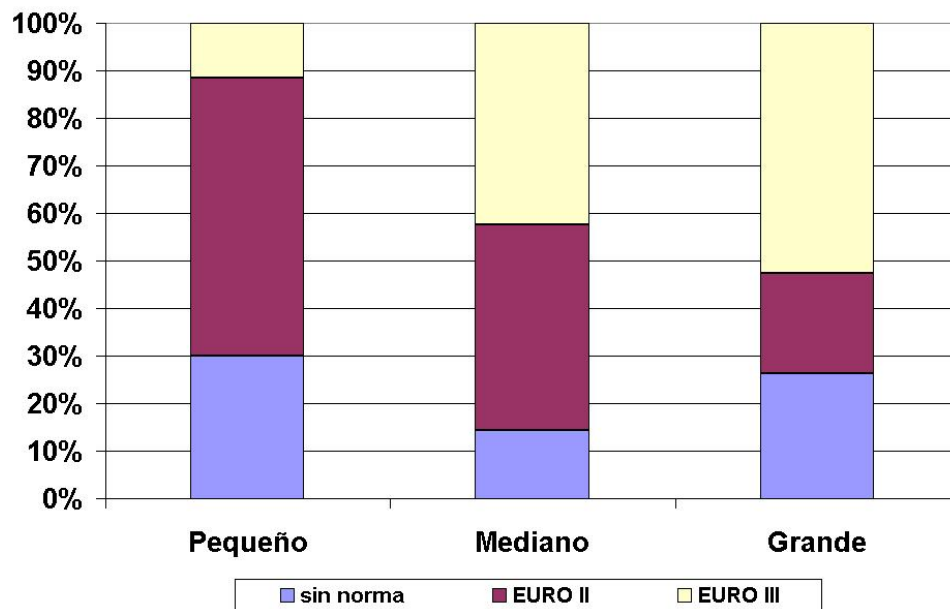


Figura 4.11: Distribución según Tamaño y Norma de Emisión en Buses, Santiago.

■ **Camiones**

La distribución presente en los camiones de Santiago con respecto a su peso, se muestra en la figura 4.12:

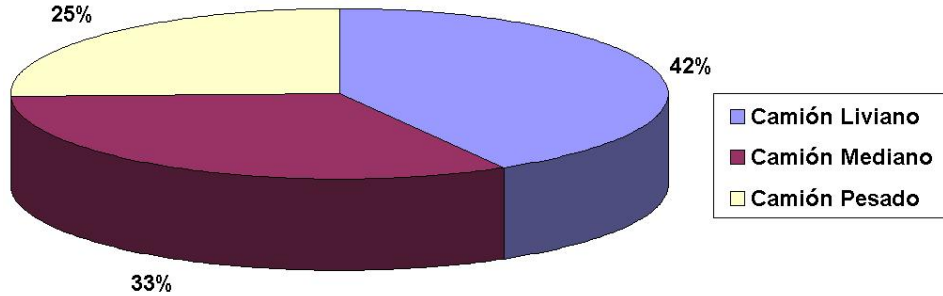


Figura 4.12: Distribución de Camiones según Peso Bruto, Santiago.

Donde la clasificación de camiones por peso bruto queda detallada en la tabla 4.15:

Tabla 4.15: Clasificación de Camiones según Peso Bruto.

Clasificación	Peso Bruto (PB)
Livianos	$3,5 < PB \leq 7,5$ ton
Medianos	$7,5 < PB \leq 16$ ton
Pesados	$PB > 16$ ton

A su vez, los distintos tipos de camiones se distribuyen tecnológicamente según la norma de control de gases de escapes que éstos cumplen, señalada en la figura 4.13:

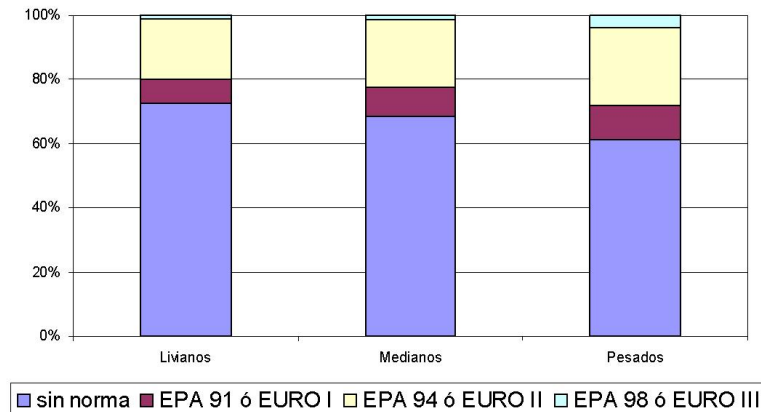


Figura 4.13: Distribución según Peso y Norma de Emisión en Camiones, Santiago.



## **4.2. Dinámicas de Conducción**

En esta sección se señalan los resultados obtenidos para Santiago y Buenos Aires relacionados con la dinámica de conducción, los cuales corresponden a los datos generados de la repartición de los VOCE a vehículos de pasajeros, y a los datos generados de la conexión de GPS a las distintas categorías vehiculares incluidas en el estudio.

### **4.2.1. Distribución de Partidas en Frío**

En ambas ciudades se repartieron 80 VOCE a dueños de vehículos de pasajeros. Dichos dispositivos estuvieron conectados por una semana en cada vehículo y posteriormente se recopiló la información.

Una vez descargada la información, ésta fue procesada con tres programas diferentes, que le dan el formato final para entrada al modelo IVE. En esta etapa se pudo observar que no todos los archivos descargados estaban correctos, ya sea porque no fueron conectados o quedaron mal conectados, o porque el encendedor de cigarrillos del auto no estaba en buenas condiciones. Esto ocasionó tener finalmente menos de 80 archivos al término del procesamiento.

En el caso de Buenos Aires se tuvo la información de un total de 30 VOCE, lo que significa 70 días de medición. El promedio de encendidas del motor que se observó en la muestra de Buenos Aires fue de 9. Para el caso de Santiago, de un total de 67 VOCE exitosamente procesados, equivalente a 124 días de medición, se observó que el promedio de encendidas del motor fue de 11.

Las figuras 4.14 y 4.15 indican la distribución de las partidas del motor para las ciudades de Santiago y Buenos Aires, respectivamente. Los datos se encuentran agrupados cada dos horas y clasificados según el tiempo transcurrido entre dos partidas consecutivas del motor. De esta forma, aquellas columnas con mayor tiempo entre partidas (color azul), contaminarán más pues el motor se encontrará más frío al ocurrir dicho evento.

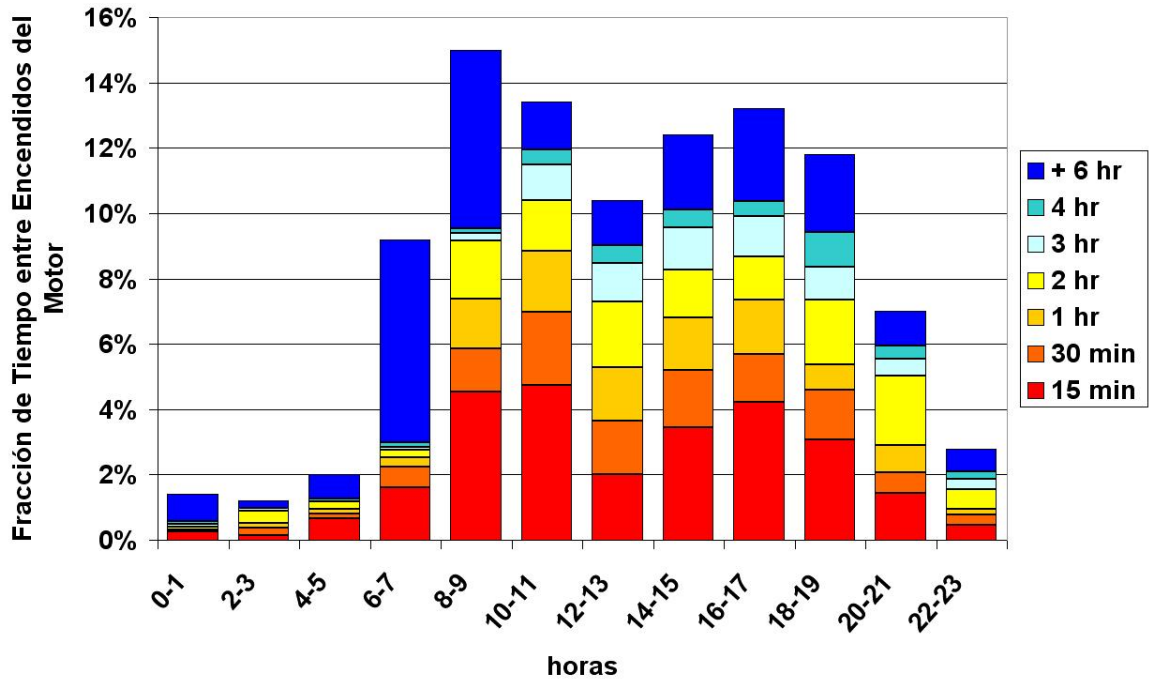


Figura 4.14: Distribución Encendidos del Motor en Vehículos de Santiago.

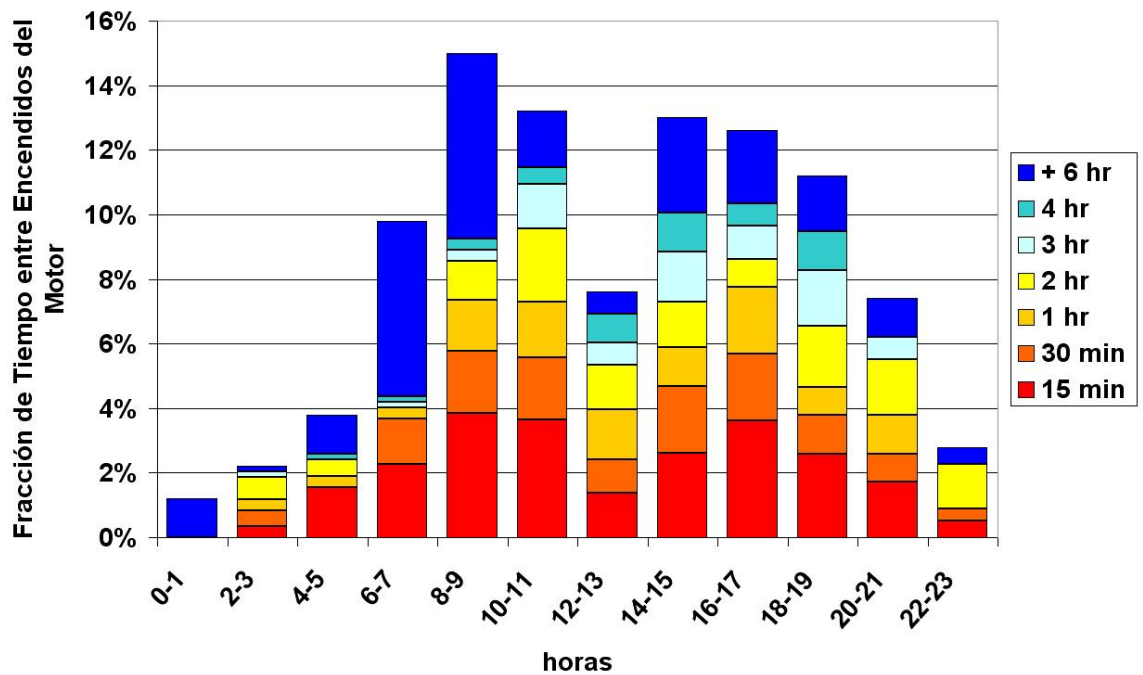


Figura 4.15: Distribución Encendidos del Motor en Vehículos de Buenos Aires.

De los gráficos se puede observar por una parte, cómo se distribuyen los números de eventos de encendido del motor durante el día, dado por la altura de las columnas; y a su vez apreciar cómo se distribuyen en cada fracción del día, las partidas en caliente (en color rojo y con menos de 15 minutos entre encendidos) y las partidas en frío (en color azul y con más de 6 horas entre encendidos)

Se puede observar de las figuras 4.14 y 4.15, que los valores máximos de eventos encendidos ocurren durante las horas 8 y 9 del día, y en segundo lugar para las horas 6 y 7 del día, en ambas ciudades. Este hecho responde principalmente al funcionamiento de ciudades de este estilo, en donde el inicio de actividades laborales o de estudio, demandan un mayor uso de vehículos particulares durante esta hora del día. Bajo esta misma perspectiva, se observan nuevos máximos en las horas punta de la tarde, asociadas al término de dichas actividades.

En relación a los eventos de encendidos más contaminantes, para ambas ciudades éstos se encuentran en los horarios punta mañana, siendo consecuente al hecho de que la actividad vehicular durante la noche de un día hábil es muy baja, por lo que los motores se encuentran muy fríos a esta hora del día. Sin embargo, la mayor concentración de partidas con el motor con más de 6 horas apagado, se ubican en las horas 6 y 7 del día, para Santiago; y en las horas 8 y 9 del día, para Buenos Aires. Esto puede responder a situaciones relacionadas a viajes más cortos, ya sea por distancia o por tiempo invertido, o que el inicio de las principales actividades de la ciudad sean más tarde, al comparar Buenos Aires con respecto a Santiago.

Por otra parte, de las figuras 4.14 y 4.15 es posible observar que en general, la altura de las columnas durante el transcurso del día son más altas para la ciudad de Santiago que Buenos Aires, indicando la existencia de un mayor uso diario del vehículo (11 veces en Santiago y 9 veces en Buenos Aires). Esto también explica el hecho de que exista una distribución más uniforme dentro de los distintos niveles de contaminación del motor, dado por su temperatura al encendido, graficadas en las columnas que resultaron de la muestra en la ciudad de Santiago versus las obtenidas en Buenos Aires, pues al existir más eventos encendidos del motor durante el día, existen más opciones de que éste no se enfríe tanto entre dos eventos consecutivos de este tipo.

Finalmente, la información que será incluida al Modelo IVE para este grupo de datos, se muestra en las tablas 4.16 y 4.17, para Santiago y Buenos Aires, respectivamente:

Tabla 4.16: Distribución de Eventos Encendidos y Tiempo entre Encendidos del Motor, para Vehículos en Santiago.

Hora del Día	15 min	30 min	1 hr	2 hr	3 hr	4 hr	+ 6 hr
0-1	0,0024640	0,0008260	0,0000000	0,0008260	0,0008260	0,0008260	0,0082320
2-3	0,0015000	0,0022560	0,0015000	0,0037440	0,0007440	0,0000000	0,0022320
4-5	0,0066600	0,0014800	0,0014800	0,0022200	0,0000000	0,0007400	0,0074000
6-7	0,0161000	0,0061640	0,0030360	0,0023000	0,0007360	0,0015640	0,0621000
8-9	0,0454500	0,0130500	0,0154500	0,0177000	0,0022500	0,0015000	0,0546000
10-11	0,0473020	0,0225120	0,0186260	0,0155440	0,0108540	0,0046900	0,0147400
12-13	0,0201760	0,0163280	0,0163280	0,0201760	0,0116480	0,0054080	0,0140400
14-15	0,0344720	0,0176080	0,0161200	0,0145080	0,0130200	0,0053320	0,0230640
16-17	0,0422400	0,0145200	0,0168960	0,0130680	0,0122760	0,0046200	0,0283800
18-19	0,0306800	0,0153400	0,0076700	0,0199420	0,0099120	0,0107380	0,0237180
20-21	0,0144900	0,0060900	0,0084000	0,0212800	0,0053200	0,0037800	0,0106400
22-23	0,0046760	0,0031080	0,0015680	0,0062160	0,0031080	0,0023240	0,0070000

Tabla 4.17: Distribución de Eventos Encendidos y Tiempo entre Encendidos del Motor, para Vehículos en Buenos Aires.

Hora del Día	15 min	30 min	1 hr	2 hr	3 hr	4 hr	+ 6 hr
0-1	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0120000
2-3	0,0033846	0,0050769	0,0033846	0,0067692	0,0016923	0,0000000	0,0016923
4-5	0,0155576	0,0000000	0,0034615	0,0051732	0,0000000	0,0017117	0,0120961
6-7	0,0227133	0,0140000	0,0035245	0,0000000	0,0017622	0,0017622	0,0542378
8-9	0,0384384	0,0192192	0,0157658	0,0121622	0,0034535	0,0034535	0,0575075
10-11	0,0364685	0,0191592	0,0174414	0,0225946	0,0138739	0,0051532	0,0173093
12-13	0,0138182	0,0103257	0,0155644	0,0138182	0,0069091	0,0086553	0,0069091
14-15	0,0260260	0,0208208	0,0121021	0,0139239	0,0156156	0,0121021	0,0294094
16-17	0,0363243	0,0206847	0,0206847	0,0085766	0,0103423	0,0069369	0,0224505
18-19	0,0258462	0,0120839	0,0086154	0,0189091	0,0172308	0,0120839	0,0172308
20-21	0,0172248	0,0085754	0,0120500	0,0172248	0,0068751	0,0000000	0,0120500
22-23	0,0052640	0,0035000	0,0000000	0,0140000	0,0000000	0,0000000	0,0052360

## 4.2.2. Patrones de Conducción

### Vehículos de Pasajeros

Para dar muestra de cómo se ven influenciados los patrones de conducción característicos de una ciudad, en esta sección se muestran los resultados obtenidos de conectar los GPS a los vehículos de pasajeros, pues fue en esta categoría donde se tuvo especial énfasis en medir en distintos tipos de calles y a distintas horas del día (desde las 7 horas hasta las 21 horas).

A modo de señalar el efecto de los tipos de calles seleccionados en este estudio influyen en las velocidades medias de circulación, la figura 4.16 corresponde a la evolución de las velocidades medias durante el día para el sector de bajo ingreso socioeconómico en Santiago.

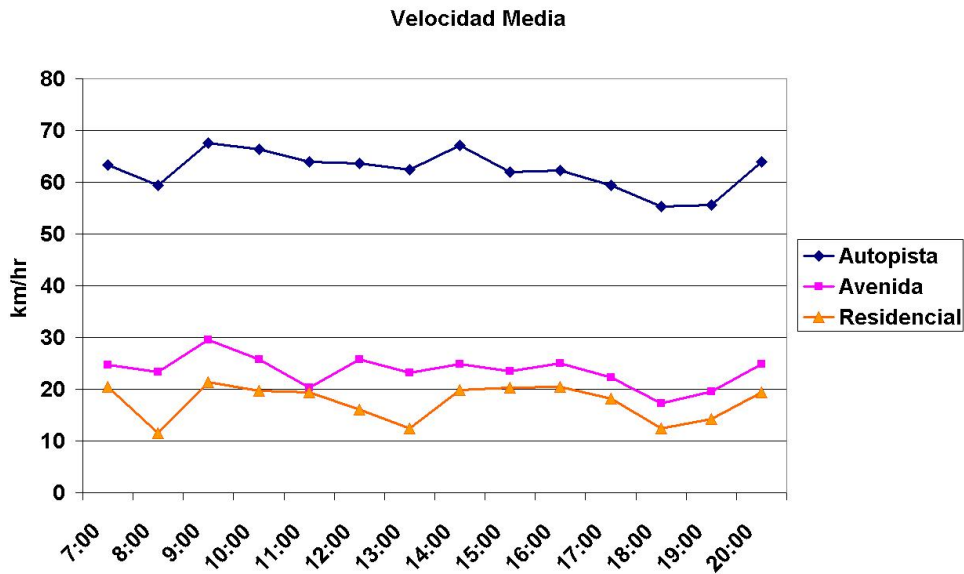


Figura 4.16: Evolución de Velocidades Medias para diferentes tipos de calles, sector bajo ingreso socioeconómico, Santiago.

De la figura 4.16 se puede observar que las velocidades medias mayores se dan en la autopista, debido a las características de alta velocidad que poseen las autopistas en general. En relación a las avenidas y calles residenciales, estas últimas tienen la velocidad media menor, lo que refleja el hecho de que la conducción en este tipo de calles posee muchos elementos que procuran reducir la velocidad, como intersecciones, lomos de toros, baches, etc. Sin embargo, el comportamiento de avenidas y calles residenciales puede ser al revés si se escoge una avenida con alto flujo vehicular y niveles de congestión considerables. Esto se aprecia en la figura número 4.17, que es la evolución de las velocidades medias en el sector de alto ingreso socioeconómico en Buenos Aires.

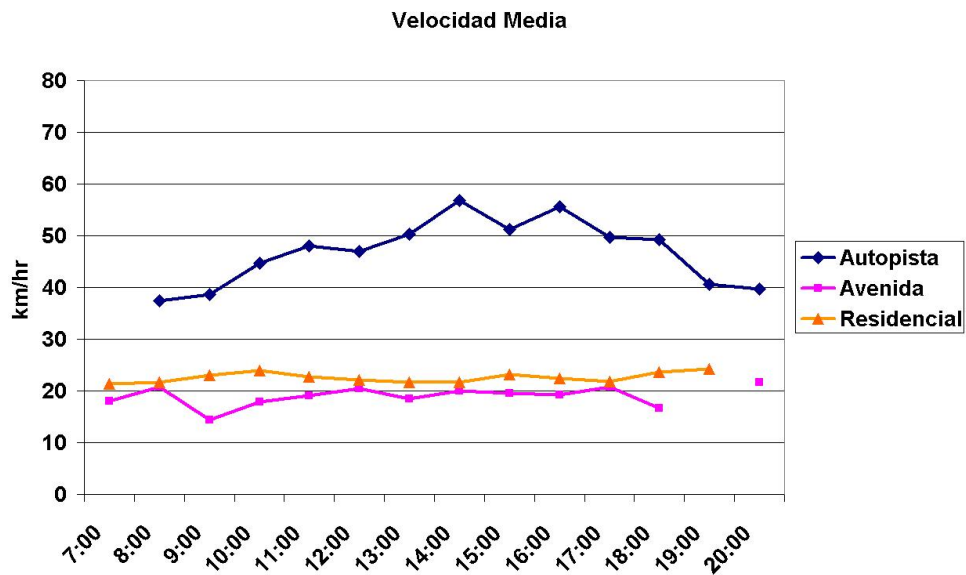


Figura 4.17: Evolución de Velocidades Medias para diferentes tipos de calles, sector alto ingreso socioeconómico, Buenos Aires.

En general, las velocidades medias registradas en Santiago son mayores que Buenos Aires, para los tres tipos de calles estudiados. Esto refleja una situación evidente de Buenos Aires, que es el alto nivel de congestión vehicular que posee en sus principales vías de circulación, con respecto a la ciudad de Santiago.

Recordando lo dicho en los antecedentes, la velocidad media de un determinado ciclo de conducción no refleja fielmente la exigencia del motor, por lo que todos los gráficos que se muestran a continuación corresponden a los histogramas de BINS, definidos anteriormente. En el análisis de los histogramas es importante tener en cuenta lo siguiente [30]:

- Los BINS de potencia del 1 al 11, del 21 al 31 y del 41 al 51 representan el caso de potencia negativa, como por ejemplo, cuando el vehículo desacelera o está bajando por una calle de pendiente negativa.
- Los BINS 12, 32 y 52 representan una situación de potencia 0 o muy baja, como por ejemplo detener el vehículo frente a un disco pare o esperar tras un semáforo a que den luz verde.
- Los BINS restantes representan la situación en que el vehículo está usando potencia positiva, como conducir a velocidad constante, acelerar, subir una pendiente, etc.
- Una carga baja se refiere a condiciones en que el vehículo enfrentó bajas velocidades y aceleraciones en los últimos 20 segundos de operación y las rpm del motor son relativamente bajas. Un carga alta ocurre con altas velocidades y aceleraciones en los últimos 20 segundos de operación y las rpm del motor son altas.

Las figuras 4.18 y 4.19 corresponden a los histogramas de Santiago y Buenos Aires, respectivamente, en los cuales está resumido el patrón de comportamiento para los tres tipos de circuitos realizados: autopista, avenida y residencial. Los histogramas de ambas ciudades reúnen a las tres zonas de estudio, según el tipo de calle que corresponda.

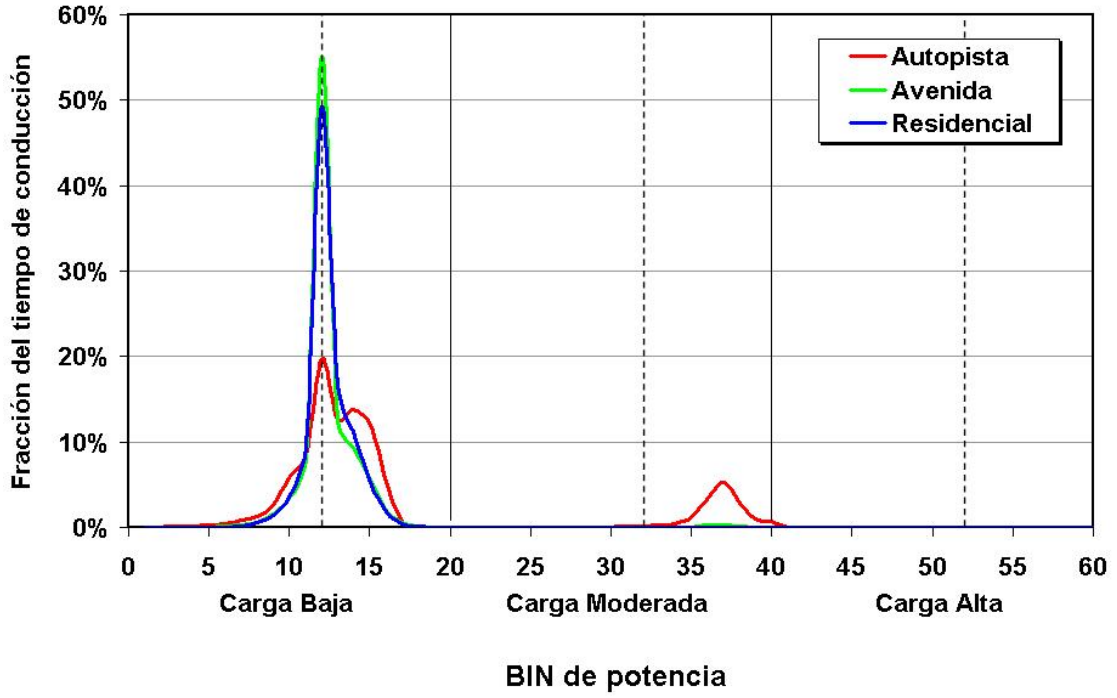


Figura 4.18: Histograma de BINS para Vehículos de Pasajeros en diferentes tipos de calles, Santiago.

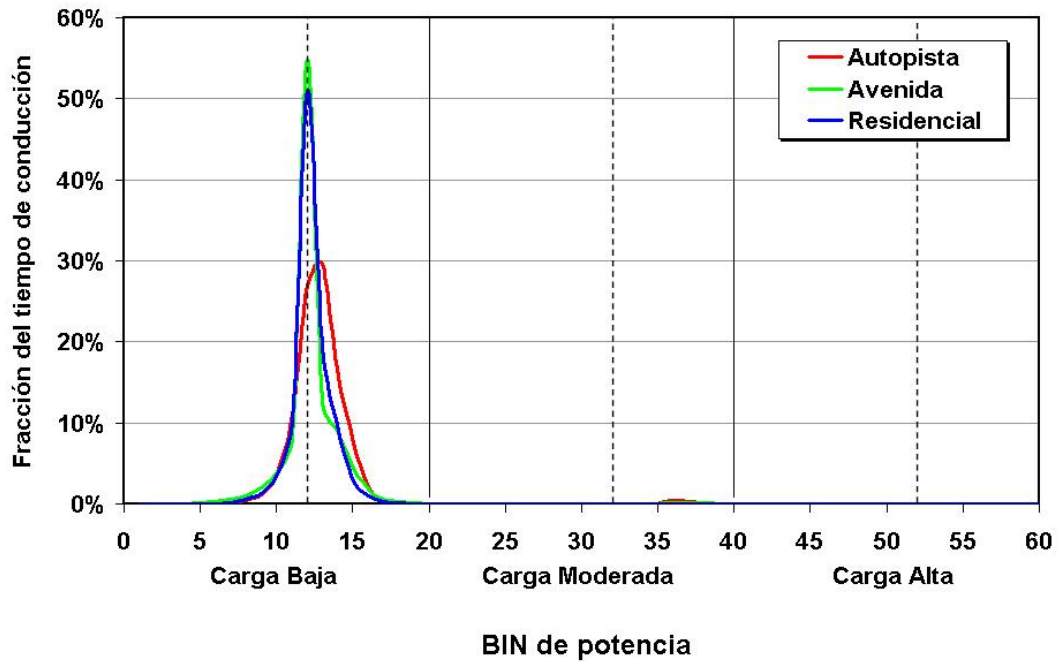


Figura 4.19: Histograma de BINS para Vehículos de Pasajeros en diferentes tipos de calles, Buenos Aires.



Se puede observar de las figuras 4.18 y 4.19, que los circuitos de avenida y residencial en ambas ciudades tienen la mayor fracción de tiempo concentrada en el BIN 12, el cual representa condiciones de potencia cero o muy cercanas a este valor, donde el vehículo permanece detenido o con velocidades bajas, en forma constante. Lo descrito anteriormente es una situación propia del tránsito en avenidas y residenciales, las cuales poseen un alto número de intersecciones viales que impiden mantener velocidades elevadas prolongadas y aumentan la probabilidad de detención. Comparativamente, Buenos Aires posee los máximos porcentajes de tiempo para avenidas y residenciales similares, 55 % y 51 %, respectivamente; en cambio Santiago tiene una diferencia más notoria en dichos valores, 56 % en avenidas y 49 % en residenciales, lo que indica que la conducción en calles de tipo residencial para Santiago es menos interrumpida que en Buenos Aires, donde en éstas últimas existen elementos en la vías como “baches”. Al llegar a una intersección, que no son característicos de la ciudad de Santiago.

De las gráficas anteriores es posible observar que para ambas ciudades, las calles de tipo residencial, con respecto a las avenidas, tienen valores superiores en los BINS 14 y 15, especialmente en Santiago. Esto se explica a que en los circuitos residenciales se observa un menor porcentaje para el BIN 12, permaneciendo más tiempo en los BINS superiores, indicando que el motor está en condiciones de potencia específica (VSP) distintas a cero por mayor tiempo, a diferencia de lo que ocurre en avenidas. Sin embargo, el hecho de que en las calles de tipo residencial las velocidades medias sean menores que en las avenidas, y en consecuencia valores de VSP bajas, provocan que el BIN 12 de este tipo de calles sea relativamente alto, para ambas ciudades.

En general, las calles de tipo residencial y avenidas poseen un comportamiento muy similar en ambas ciudades, donde la mayor fracción de tiempo ocurre en el BIN 12, y donde la presencia en los BINS de carga moderada son despreciables y en los BINS de carga alta son nulos.

En relación a las autopistas, para ambas ciudades se observa una clara diferencia con respecto a los otros dos tipos circuitos descritos anteriormente, lo que afirma la influencia del tipo de calle en el modo de conducción. Se observa que el valor del BIN 12 para las autopistas es del orden de la mitad de los observados en las calles residenciales y avenidas. Esto se debe a que la presencia de elementos que ocasionen detenciones en las autopistas, o la presencia de congestión vehicular, son mucho menores que en avenidas y calles residenciales, por lo que disminuye la permanencia de tiempo en los BINS inferiores en los cuales el VSP del motor son bajos o nulos. Sin embargo, este valor para las autopistas en el BIN 12 resulta algo extraño, al afirmar que prácticamente la conducción es sin detenciones. Este hecho se explica a que las mediciones fueron hechas dentro de circuitos donde los retornos a las autopistas incurrieran en detenciones del vehículo. De todas formas la fracción de tiempo ocupado en eventos de detención fue para todo el viaje.

Otra diferencia que existe en las autopistas con respecto a calles residenciales y avenidas, es la presencia de BINS de carga moderada por lo que la permanencia de tiempo en los BINS superiores responden a estados del motor en condiciones de VSP con carga moderada, pues no se observaron valores con carga elevada en ninguna medición. Esto se debe a que las velocidades son más altas, las aceleraciones más prolongadas y a que no existen detenciones.

Comparativamente, los modos de conducción en las autopistas presentaron las mayores diferencias entre ambas ciudades. Esto se puede observar con mayor claridad en la figura 4.20:

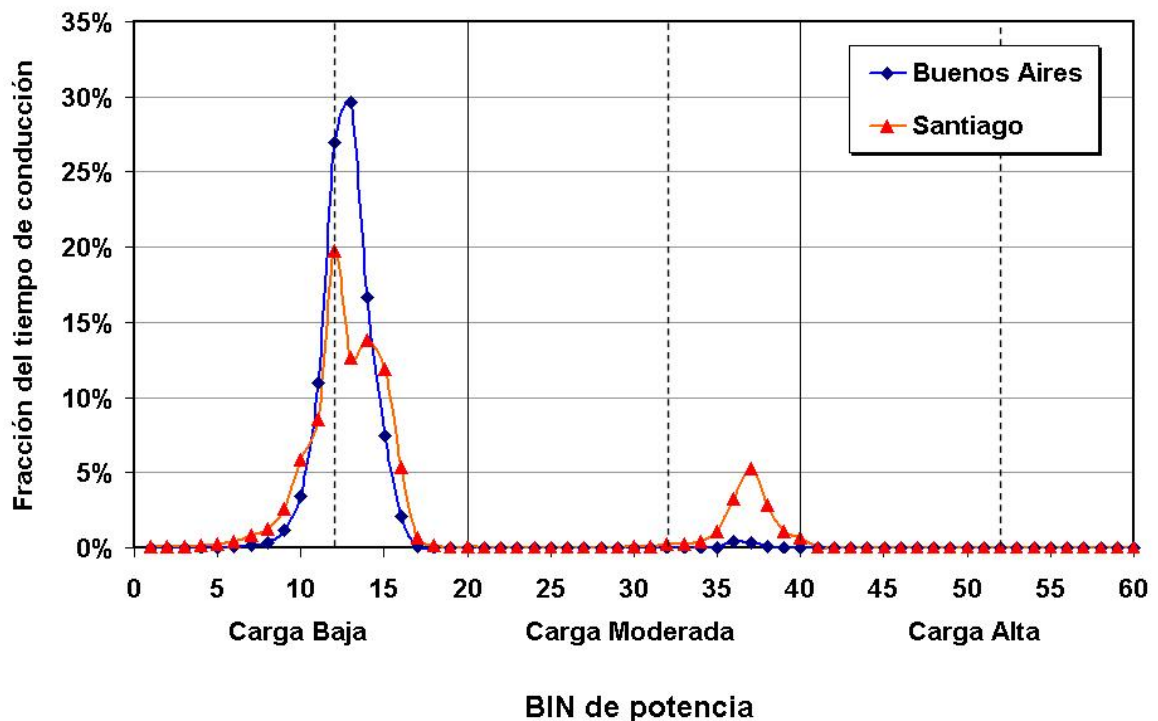


Figura 4.20: Histograma de BINS para Vehículos de Pasajeros en Autopistas de Santiago y Buenos Aires.

Las diferencias más notables son, por una parte, la superioridad en el valor del BIN 12 para la ciudad de Buenos Aires comparado con Santiago; y por otra parte, la existencia de valores a cargas moderadas que experimentaron las autopistas en Santiago, considerablemente mayores a Buenos Aires. Este hecho se debe a que el tipo de autopistas que existen en Santiago son de alta velocidad, no así en Buenos Aires, donde las autopistas presentan alta congestión vehicular, conexiones a calles laterales, provocando mayor dificultad por alcanzar velocidades mayores y aceleraciones prolongadas. Esto también explica el hecho de que el BIN 12 y 13 de Buenos Aires sean mayores que en Santiago.

Como fue mencionado en los antecedentes, la hora del día influenciará el modo de conducción, debido a la existencia de períodos de alta congestión vehicular, conocidos como horarios puntas. La figura 4.21 muestra los histogramas de los circuitos de autopistas para las 15 horas (horario fuera de punta) y las 19 horas (horario punta), en el sector alto ingreso socioeconómico en Santiago:

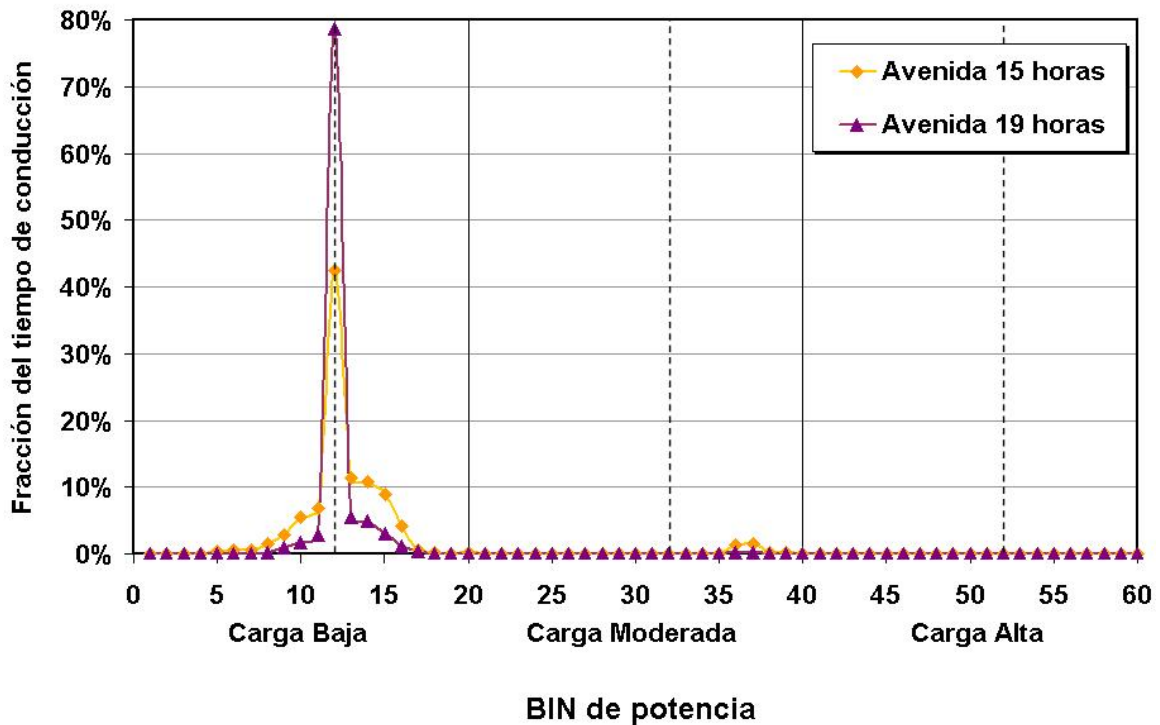


Figura 4.21: Histograma de BINS para Vehículos de Pasajeros en Avenida a dos Horarios, Santiago.

Se puede apreciar la clara diferencia existente en el BIN 12 para ambos horarios, siendo considerablemente mayor para las 19 horas con respecto a las 15 horas, 79 % y 42 % respectivamente. Este hecho es un claro efecto de la congestión que surge en el horario punta de la tarde, donde existe un gran número de vehículos que se encuentra retornando de la jornada laboral. Por otra parte, para las 15 horas se observan fracciones de tiempo para cargas moderadas, que reflejan condiciones en que se alcanzaron velocidades relativamente altas y aceleraciones prolongadas durante el recorrido, situación que para las 19 horas resulta prácticamente nula.

De esta forma, la figura número 4.21 señala que horarios de alta congestión generan histogramas con valores en torno al BIN 12, caracterizados por las bajas velocidades y frecuentes detenciones; mientras que para horarios fuera de punta, es posible distribuir tanto en BINS de carga baja como en BINS de carga moderada, los valores del histograma, debido a la posibilidad de poder circular de manera más fluida.

## Camiones y Buses

En esta sección se muestran los histogramas de camiones y buses registrados de las mediciones con GPS hechas en las ciudades de Santiago y Buenos Aires. El propósito de mostrar estas dos categorías se debe a que poseen diferencias tecnológicas con respecto a los vehículos de pasajeros, y al utilizar diesel como combustible toman importancia la generación de otro tipo de contaminantes como es el material particulado. Por otra parte, estas dos categorías vehiculares están siempre presentes en los centros urbanos, por una necesidad de la sociedad de movilizarse personas (buses) y trasladar bienes (camiones).

Las figuras 4.22 y 4.23 muestran los histogramas obtenidos de Santiago y Buenos Aires para camiones y buses, respectivamente:

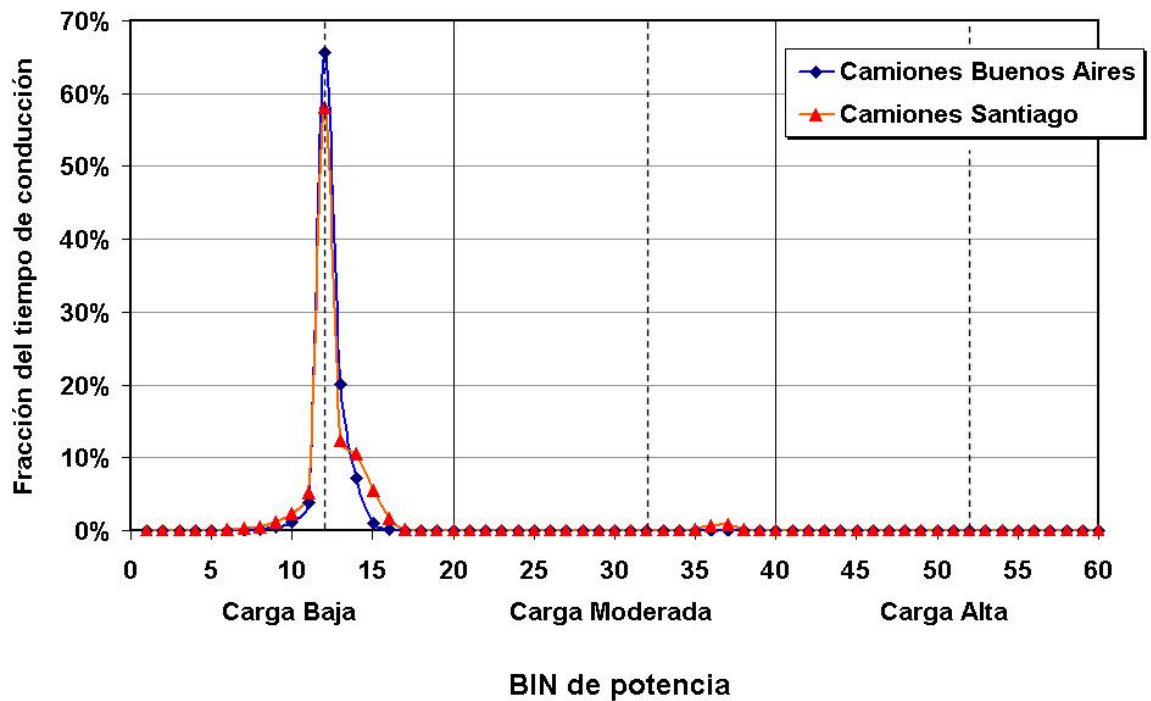


Figura 4.22: Histograma de BINS para Camiones de Santiago y Buenos Aires.

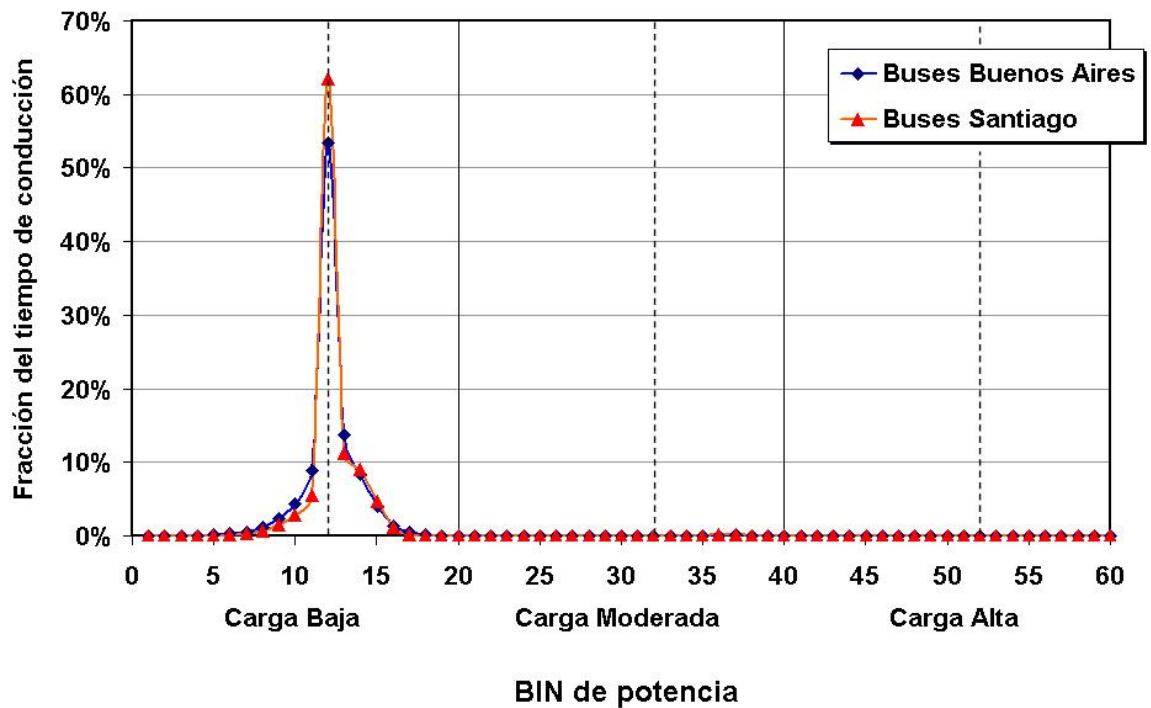


Figura 4.23: Histograma de BINS para Buses de Santiago y Buenos Aires.

De la figura 4.22 se observa que en ambas ciudades las mayores fracciones de tiempo están en el BIN 12, siendo en Buenos Aires 65 % y en Santiago 58 %. Esta menor permanencia en el BIN 12 de los camiones en Santiago permiten caer en BINS superiores, observándose traslapes en los BINS 14, 15 y 16, indicando que es posible permanecer más tiempo en condiciones de velocidades bajas pero sin detenciones. Otro aspecto observable de este histograma es el hecho de que en Santiago hay una leve permanencia en la zona de carga moderada, situación que no se da en Buenos Aires, lo que indica que indica el hecho de poder circular a velocidades mayores por cortos períodos de tiempos. Con respecto a los buses, de la figura 4.23 se observa nuevamente que el mayor porcentaje de tiempo ocurre en el BIN 12, siendo esta vez superior en Santiago, con un 62 %, versus un 53 % en Buenos Aires. Este hecho refleja las características de circulación de los buses, donde el servicio requiere de frecuentes detenciones las cuales normalmente toman varios minutos (para subir y descender del bus), y por otra parte, las calles corresponde a avenidas, que como se comentó anteriormente, poseen un alto número de intersecciones que obligan a detenerse.

### 4.3. Características Generales de la Flota Vehicular

En esta sección se entregan los datos obtenidos de la búsqueda de información estadística, relacionada al parque vehicular de Santiago y Buenos Aires, donde se determinaron los siguientes puntos:

- Número total de vehículos existentes en las ciudades de Santiago y Buenos Aires.
- Distribución de la flota en las distintas categorías vehiculares. Este dato corresponde a una caracterización estática, que debe ser comparada con la información dinámica registrada con las grabaciones de videos durante la campaña.
- Kilómetros diarios recorridos por categoría vehicular.

Las tablas 4.18 y 4.19 indican el resumen de la información descrita anteriormente, para Santiago y Buenos Aires, respectivamente.

Tabla 4.18: Información Parque Vehicular, Santiago.

	Categoría	VP*	Motos	Taxi	Bus	Camion M/P**	Camión L***	Flota 2007
1	Fracción de Vehículos	0,89	0,02	0,04	0,01	0,02	0,02	1118460
2	Uso Vehículo(km/veh/día)	49	35	147	235	127	155	Total km/día
3	Total km recorridos (%)	75,4	1,2	9,9	4,9	3,3	5,4	64723043

Tabla 4.19: Información Parque Vehicular, Buenos Aires.

	Categoría	VP*	Motos	Taxi	Bus	Camion M/P**	Camión L***	Flota 2007
1	Fracción de Vehículos	0,83	0,07	0,04	0,02	0,01	0,03	1070345
2	Uso Vehículo(km/veh/día)	40	30	200	110	50	200	Total km/día
3	Total km recorridos (%)	64,7 %	3,9 %	13,9 %	3,8 %	1,4 %	12,3 %	55177355

\*VP: vehículo de pasajeros

\*\*Camión M/P: camión mediano y pesado

\*\*\*Camión L: camión liviano

La fila 3 corresponde al producto de las filas 1, 2 y el valor de la flota total. Este valor está representado como porcentaje de la suma total de kilómetros que recorre la flota completa de Santiago y Buenos Aires.

La columna 3 es importante de considerar pues sirve para comparar la información estática con lo que se obtuvo de las grabaciones realizadas en la campaña, correspondiente a los resultados de la sección 4.1.1, y que se resume en las tablas 4.20 y 4.21 para Santiago y Buenos Aires, respectivamente.

Tabla 4.20: Comparación de Distribución Estática y Dinámica de la Flota, Santiago.

Categoría	VP	Motos	Taxi	Bus	Camion M/P	Camión L
Distribución Estática	75,4 %	1,2 %	9,9 %	4,9 %	3,3 %	5,4 %
Distribución Dinámica	77,6 %*	1,9 %	10,0 %	3,2 %	3,1 %	4,2 %

Tabla 4.21: Comparación de Distribución Estática y Dinámica de la Flota, Buenos Aires.

Categoría	VP	Motos	Taxi	Bus	Camion M/P	Camión L
Distribución Estática	64,7 %	3,9 %	13,9 %	3,8 %	1,4 %	12,3 %
Distribución Dinámica	62,2 %**	3,9 %	14,1 %	3,9 %	1,6 %	11,9 %

\*A esta categoría se le sumo todo el total de Vehículos Comerciales.

\*\*A esta categoría se le sumo sólo el 20 % del total de Vehículos Comerciales y el resto fue sumado a Camiones Livianos. Esta distribución se hizo así pues existe un elevado porcentaje de camionetas que circulan en Buenos Aires como camiones de reparto, caracterizadas por tener un motor y una capacidad de carga grande.

De las tablas 4.20 y 4.21 se puede observar que las diferencias de los valores entre un tipo de distribución y otra son menores al 3 %. Este resultado demuestra que la medición de flujo con cámaras de video fue representativa en ambas ciudades.

## Capítulo 5

### Resultados de Modelo de Emisiones

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de aplicar el Modelo IVE en las ciudades de Santiago y Buenos Aires, para estimar las emisiones asociadas a la actividad vehicular propia de cada localidad.

Los datos resultantes del modelo IVE permiten tener, para cada ciudad, información general de las emisiones vehiculares. Por otra parte, se puede obtener la participación que tiene cada categoría vehicular sobre el total y las evoluciones diarias de los principales contaminantes. Finalmente, se dispone de todos los datos para generar un Inventario de Emisiones 2007, de fuentes móviles en ruta, para las ciudades de Santiago y Buenos Aires.

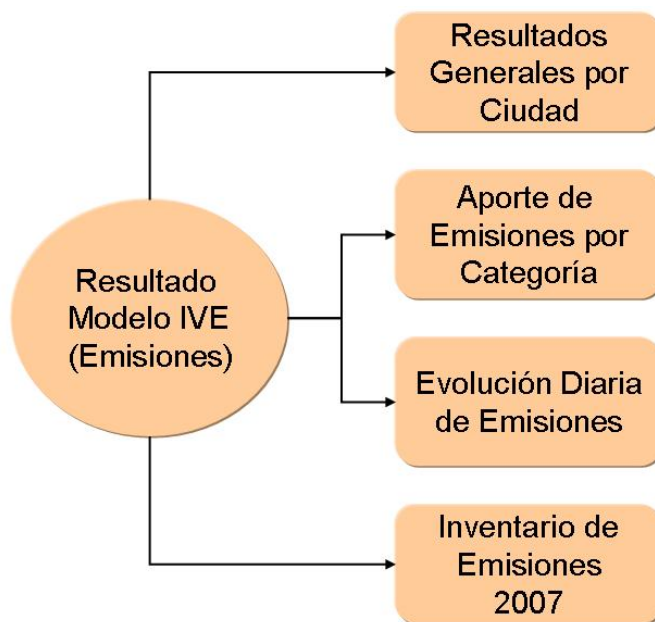


Figura 5.1: Esquema de Resultados de Aplicar Modelo IVE.



## 5.1. Resultados Generales por Ciudad

Las tablas 5.1 y 5.2 indican el total de toneladas por día de los principales contaminantes, generados por cada categoría vehicular considerada en el análisis.

Tabla 5.1: Toneladas Diarias de los Principales Contaminantes por Categoría Vehicular, Santiago.

Categoría	km/día	CO Ton/día	COV Ton/día	COV evap. Ton/día	NOx Ton/día	SOx Ton/día	MP Ton/día	CO2 Ton/día
<b>Total</b>	<b>64723043,3</b>	<b>2947</b>	<b>213</b>	<b>256</b>	<b>294</b>	<b>1</b>	<b>10,4</b>	<b>31886</b>
VP Au	9706432	346	11	14	17	0,04	0,3	2539
VP Av	20534713	1241	90	108	60	0,19	1,4	10129
VP Re	18534895	1136	79	95	54	0,16	1,2	8677
Moto Au	155801	5	1	1	0	0,00	0,0	12
Moto Re	329610	13	3	4	0	0,00	0,1	26
Moto Av	297510	13	3	4	0	0,00	0,1	26
Taxi	6412131	90	3	8	7	0,04	0,1	2374
Bus	3154057	37	8	8	55	0,03	1,9	3373
Camión M/P	2130666	23	5	5	35	0,02	1,8	1682
Camión L	3467226	44	9	9	65	0,03	3,5	3047

Tabla 5.2: Toneladas Diarias de los Principales Contaminantes por Categoría Vehicular, Buenos Aires.

Categoría	km/día	CO Ton/día	COV Ton/día	COV w/evap. Ton/día	NOx Ton/día	SOx Ton/día	MP Ton/día	CO2 Ton/día
<b>Total</b>	<b>55177355.1</b>	<b>3589</b>	<b>248</b>	<b>266</b>	<b>328</b>	<b>2.01</b>	<b>10.9</b>	<b>21714</b>
VP Au	3568530	93	9	9	6	0.05	0.0	589
VP Av	21411181	2002	114	122	70	0.57	0.6	6093
VP Re	10705590	1054	57	61	40	0.29	0.3	3074
Moto Au	215460	29	15	16	1	0.01	0.5	76
Moto Re	1292762	29	15	16	1	0.01	0.5	76
Moto Av	646381	15	8	8	0	0.00	0.3	41
Taxi	7685077	87	2	5	10	0.03	0.2	1779
Bus	2095735	43	7	7	44	0.23	1.8	2261
Camión M/P	770648	29	4	4	17	0.09	0.8	856
Camión L	6785987	234	30	31	140	0.73	6.4	6933

De las tablas 5.1 y 5.2 se observa que el total de kilómetros recorridos por la flota vehicular existente en Santiago, supera ampliamente al valor de Buenos Aires, con una diferencia del orden de 9000000 km/día menos que Santiago. Esta diferencia está influenciada por la cantidad de vehículos totales de cada ciudad (tablas 4.12 y 4.13). Hay que tener en cuenta que la información de la cantidad total de vehículos de ambas ciudades (tablas 4.12 y 4.13) es una cifra estática, representando el número de vehículos existentes en Santiago y Buenos Aires, pero no necesariamente circulando en dichas ciudades.

En relación a la actividad de vehículos de pasajeros, se observan de las tablas 5.1 y 5.2 valores mayores para la ciudad de Santiago en calles de tipo residencial y autopistas, a diferencia de las avenidas, donde existe mayor actividad en Buenos Aires. La mayor diferencia entre ambas ciudades se encuentra en las autopistas, siendo aproximadamente 6000000 km/día mayor en Santiago que en Buenos Aires. Este hecho se explica por la existencia de autopistas de alta velocidad tarifadas, que cruzan en diferentes direcciones la ciudad de Santiago, representando una buena alternativa para evitar la congestión vehicular en horarios punta. Las autopistas de Buenos Aires no tienen las características mencionadas para Santiago, sino que al contrario, son mucho más parecidas a avenidas, pero con mayor número de pistas.

Con respecto a las motos, de las tablas 5.1 y 5.2 se aprecia que la actividad registrada en Buenos Aires, para los tres tipos de calles, es aproximadamente el doble que la existente en Santiago. Este resultado se ve influenciado por la menor presencia de motos en la ciudad de Santiago con respecto a Buenos Aires (3,9 % y 1,9 %, tablas 4.1 y 4.2, respectivamente). Este último hecho se explica a que Buenos Aires se ha convertido en una ciudad con altos niveles de congestión vehicular en los horarios punta del día, lo que convierte a las motos en una buena alternativa para circular en la ciudad. La tendencia de utilizar cada vez más motos, poco a poco se comienza a ver en Santiago, debido a la creciente congestión vehicular que se está produciendo en esta ciudad.

En relación a los taxis, la actividad de Buenos Aires es mayor que la de Santiago, y tiene prácticamente las mismas influencias que en las motos. Por una parte, existe una menor proporción de taxis en Santiago que en Buenos Aires; y además, hay un mayor uso diario de esta categoría en esta última ciudad (tablas 4.12 y 4.13).

Para el caso de los buses ocurre algo parecido a las dos categorías mencionadas anteriormente. La actividad vehicular de los buses es mayor para la ciudad de Santiago que Buenos Aires (tablas 5.1 y 5.2), y la influencia de este resultado radica en los kilómetros diarios que recorren esta categoría Santiago (tablas 4.12 y 4.13) es aproximadamente el doble de los que recorren los buses en Buenos Aires.

En el análisis de los camiones, los resultados de las tablas 5.1 y 5.2 presentan dos comportamientos según el tipo de camión. Por una parte, los camiones medianos y pesados tienen una mayor actividad en Santiago que en Buenos Aires; debido a la ubicación geográfica de Santiago, necesariamente genera una alta circulación de camiones de alto tonelaje, en los recorridos a lo largo del país (ver sección 4.1.1). Con respecto a los camiones livianos, la situación es al revés, siendo para Buenos Aires aproximadamente dos veces la actividad registrada en Santiago. Nuevamente, estos resultados se ven influenciados tanto por la presencia de estas categorías en cada una de las ciudades (tablas 4.1 y 4.2) y por la cantidad de kilómetros recorridos (tablas 4.12 y 4.13).

Finalmente, en relación a los contaminantes producidos por la actividad vehicular de cada ciudad, se observa de las tablas 5.1 y 5.2, que el total de las emisiones para cada contaminante es mayor en la ciudad de Buenos Aires que en Santiago. Este resultado es interesante pues se vio en los párrafos anteriores, que la actividad vehicular total en Santiago es del orden de 9000000 km/día mayor que en Buenos Aires, permitiendo concluir que la flota existente en Santiago contamina menos por kilómetro recorrido, que la flota de Buenos Aires. Sin embargo, la mayor actividad vehicular existente en Santiago genera niveles superiores de emisiones de  $CO_2$ , ya que este compuesto es un producto de la combustión y no un contaminante, por lo que la tasa de emisión se relaciona proporcionalmente a la actividad vehicular, teniendo un efecto negativo en el aporte de gas de tipo invernadero a la atmósfera.

La mayor tasa de emisiones por contaminantes presente en la ciudad de Buenos Aires versus Santiago, refleja el hecho de que en esta última se llevan empleadas políticas de control de emisiones vehiculares desde hace muchos años, como por ejemplo, combustibles libres de Plomo y con bajas concentraciones de azufre en el caso del diesel (50ppm en Santiago versus 500ppm en Buenos Aires); el ingreso de vehículos nuevos al país con dispositivos de control de gases acorde a los nuevos estándares internacionales de emisiones (normas EURO, EPA, entre otras), exigencia de revisiones técnicas anuales, entre otras. Todo lo anterior refleja la importancia que hay en los tipos de tecnología vehicular presentes en una determinada ciudad, pues se puede tener una flota más numerosa pero tecnologías de control de emisiones mejores, que llevan a ser globalmente menos contaminadora que otra tipo de flota que posea menos número de vehículos, como lo es en este caso para Santiago y Buenos Aires.

## 5.2. Aporte de Emisiones por Categorías

Las figuras 5.2 y 5.3 indican la participación que tienen las distintas categorías vehiculares en los resultados de emisiones obtenidos del Modelo IVE en Santiago y Buenos Aires, considerando los contaminantes más importantes: monóxido de carbono ( $CO$ ), compuestos orgánicos volátiles ( $COV$ ), óxidos nitrogenados ( $NO_x$ ) y material particulado ( $MP$ ).

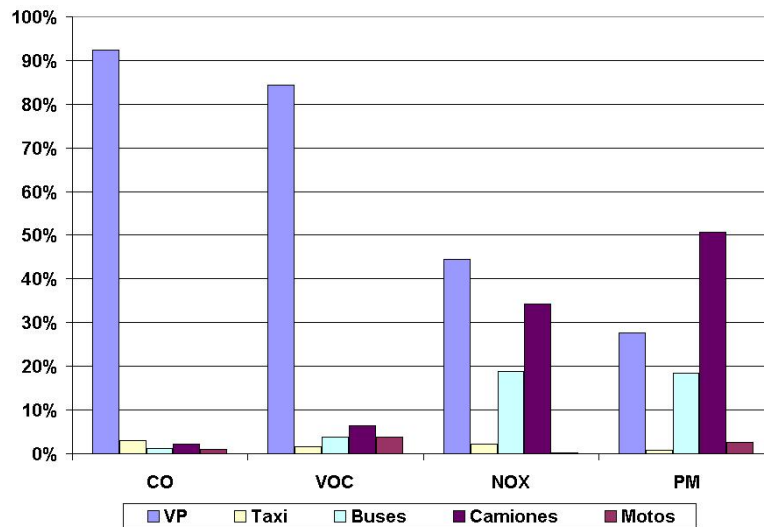


Figura 5.2: Participación de Categorías Vehiculares en las Emisiones Totales de Santiago.

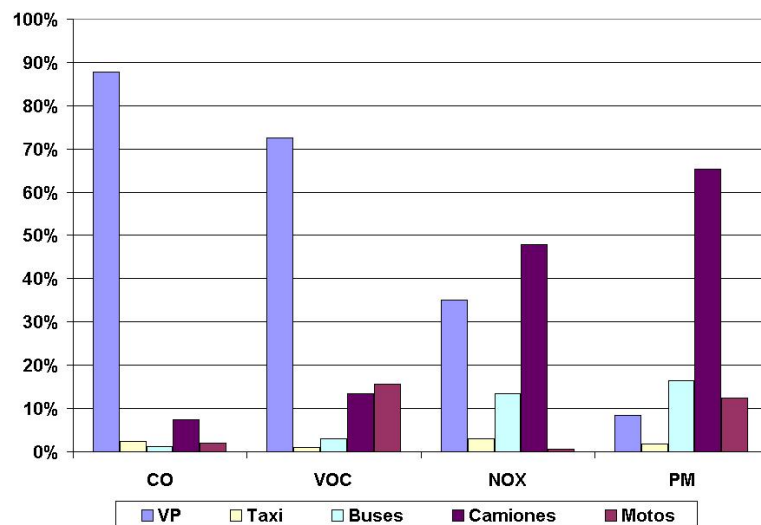


Figura 5.3: Participación de Categorías Vehiculares en las Emisiones Totales de Buenos Aires.

De las figuras 5.2 y 5.3, se observa la alta participación que tienen los vehículos de pasajeros en las emisiones de CO y COV, obtenidas en ambas ciudades. Este resultado refleja el hecho de que la categoría vehicular con mayor presencia en ambas ciudades sea la de vehículos de pasajeros, al mismo tiempo que la mayoría de éstos utilicen gasolina como combustible (sección 4.1.2), lo que incide directamente en las emisiones de CO y COV dada dicha tecnología. Comparativamente, el porcentaje de emisiones de CO y COV producidas por esta categoría en la ciudad de Santiago son mayores que en Buenos Aires. Este resultado tiene la base de que el 93 % de los vehículos de pasajeros son a gasolina versus el 64 % en Buenos Aires (tablas 4.5 y 4.9, respectivamente).

Continuando el análisis de CO y COV, se observa de las figuras 5.2 y 5.3 la mayor participación que tiene la categoría de motos y la de camiones, en las emisiones de estos contaminantes en Buenos Aires comparado con Santiago. El caso de las motos responde a lo dicho anteriormente, en relación a la mayor cantidad de unidades y km/día característicos de esta categoría en Buenos Aires (tablas 4.2 y 4.13), y dado que emplean gasolina como combustible, existe una participación considerable en las emisiones de CO y COV, en comparación a lo que ocurre en Santiago. El caso de los camiones se explica por la influencia que tiene la subcategoría camión liviano en la actividad vehicular de Buenos Aires (sección 4.3), en comparación con Santiago. Por otra parte, existe una distribución según el tipo de combustible para camiones livianos, donde el 37 % utiliza gasolina. Estos dos aspectos mencionados repercuten en que la participación de camiones en las emisiones de CO y COV es Buenos Aires sean comparativamente mayores que en la ciudad de Santiago.

En relación al aporte de las categorías vehiculares en las emisiones de  $NO_x$ , se observa de las figuras 5.2 y 5.3 que el mayor aporte lo hacen los vehículos de pasajeros y los camiones, para Santiago y Buenos Aires, respectivamente. Nuevamente se ve el efecto que tiene en cada ciudad, una categoría con alta participación en la actividad vehicular, sumado al tipo de distribución tecnológica que ésta posea. En el caso de Santiago, la participación de vehículos de pasajeros es un 77 % de los vehículos de la ciudad (tabla 4.14), de los cuales el 93 % usa gasolina como combustible (tabla 4.9), explicando la alta incidencia en las emisiones de  $NO_x$ , al igual que en el CO y en el COV, ya que éstos corresponden a los principales contaminantes asociados a esta tecnología vehicular. La situación de Buenos Aires es análoga, pero considerando a los camiones como categoría. La mayoría de los camiones en Buenos Aires utilizan diesel como combustible (ver sección 4.1.2), la cual es una tecnología que tiene como uno de los principales contaminantes las emisiones de  $NO_x$ . Este hecho sumado a la actividad vehicular de los camiones livianos de Buenos Aires (ver sección 4.3), generan el efecto de hacer que los camiones sean el mayor aporte de este tipo de emisiones en dicha ciudad.

Con respecto a las emisiones de MP, se observa en las figuras 5.2 y 5.3 que la categoría que tiene mayor participación para Santiago y Buenos Aires, es la de camiones. Esto se debe a que dicha categoría utiliza en su mayoría diesel como combustible (ver sección 4.1.2), y las emisiones generadas por un vehículo cuya tecnología sea un motor diesel corresponden en mayor grado a MP y a  $NO_x$ , como se mencionó anteriormente. Comparativamente, la participación de camiones es mayor en Buenos Aires que en Santiago, influenciado nuevamente por la actividad vehicular relativamente alta que tienen los camiones livianos de esta primera ciudad versus Santiago.

### 5.3. Evolución Diaria de Emisiones

A continuación se muestran los resultados de la evolución diaria de las emisiones totales obtenidas del Modelo IVE, para las ciudades de Santiago y Buenos Aires. Dichos resultados serán mostrados para los contaminantes: monóxido de carbono ( $CO$ ), compuestos orgánicos volátiles ( $COV$ ), óxidos nitrogenados ( $NO_x$ ) y material particulado ( $MP$ ).

#### 5.3.1. Evolución Diaria de Contaminantes en Santiago

##### Monóxido de Carbono ( $CO$ )

La figura 5.4 indica la evolución diaria para el monóxido de carbono ( $CO$ ) obtenida del Modelo IVE para la ciudad de Santiago:

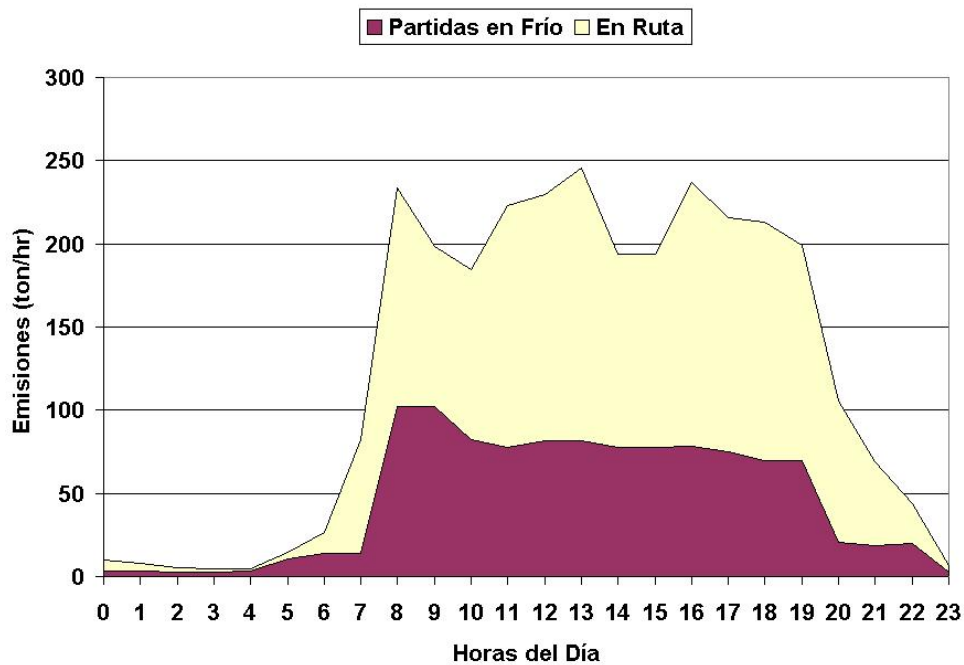


Figura 5.4: Evolución Diaria de  $CO$ , Santiago.

Se observa de la figura 5.4 la presencia de tres peaks de emisiones durante el transcurso del día. El primero de ellos ocurre a la hora 8, el segundo a la hora 13 y el tercero a la hora 16.

Para realizar el análisis de la figura 5.4 se debe considerar que las emisiones de CO están afectadas de manera importante por los vehículos a gasolina, lo que concuerda con la figura 5.2, que señala como la categoría que más aporta al CO es la de vehículos particulares, que para el caso de Santiago son en su mayoría a gasolina (ver sección 4.1.2)

Los peaks de emisiones responden principalmente al perfil de flujo determinado en la sección 4.1.1 para los vehículos de pasajeros, en donde se observa de la tabla 4.3, considerando los vehículos de pasajeros de los tres tipos de calles, que el peak de mañana ocurre entre las horas 8 y 9 (23 %), y el peak de medio día ocurre entre las horas 13 y 14 (19 %), representando los mismos horarios de la figura 5.4. Sin embargo, el peak de la tarde en las emisiones de CO ocurre entre las horas 16 y 17, el cual no coincide con el peak de la tarde asociado a los vehículos de pasajeros de la tabla 4.3, ocurrido entre las horas 19 y 20 con un 23 % versus un 20 % para las horas 16 y 17. Para explicar este hecho, se debe analizar el perfil de flujo de la segunda categoría que más aporta en las emisiones de CO, que en este caso corresponde a los taxis, los cuales también utilizan en su mayoría gasolina como combustible (sección 4.1.2). El perfil de esta última categoría determinado en la tabla 4.3, indica que el peak de la tarde ocurre entre las horas 16 y 17 (10 %), en comparación al valor para las horas 19 y 20 (4 %). La suma de los valores respectivos para estos dos horarios del día resulta mayor en el caso de 16 y 17 horas, lo que explica finalmente el peak de la tarde observado en la figura 5.4.

En relación a las emisiones asociadas a las partidas en frío, se observa un claro peak en la mañana (entre las horas 8 y 9), lo que concuerda con los resultados obtenidos en la sección 4.2.1, donde se tuvo una mayor cantidad de eventos encendidos, sumado al hecho de que el tiempo entre partidas era igual o superior a 6 horas, siendo la condición más contaminante señalada en la figura 4.15. La fracción de emisiones producidas por partidas en frío, respecto del total de CO fue un 37 %.



### Compuestos Organicos Volátiles COV

La figura 5.5 indica la evolución diaria para los compuestos orgánicos volátiles (COV) obtenidos del Modelo IVE para Santiago:

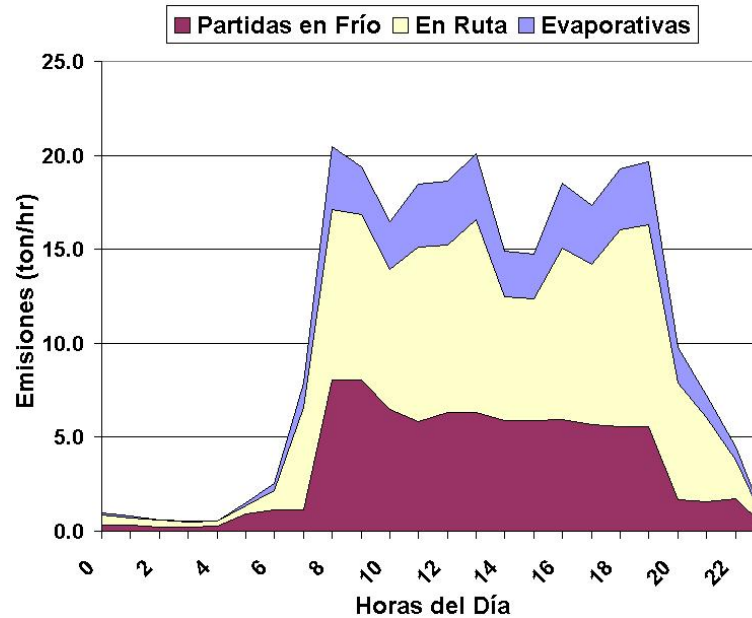


Figura 5.5: Evolución Diaria de COV, Santiago.

Se observa de la figura 5.5 nuevamente la presencia de tres peaks de emisiones durante el transcurso del día. El primero de ellos ocurre a la hora 8, el segundo a la hora 13 y el tercero a la hora 19.

Para realizar el análisis de la figura 5.5 se debe considerar, al igual que el caso anterior, que las emisiones de COV están afectadas de manera importante por los vehículos a gasolina, lo que concuerda con la figura 5.2, donde nuevamente los vehículos de pasajeros son los principales emisores de este contaminante

En relación a los peaks observados en la figura 5.5, se observa una diferencia con respecto al gráfico mostrado en la figura 5.4 para los valores de los peaks de la tarde, considerando que ambos contaminantes tienen como principal emisor a los vehículos de pasajeros a gasolina. Para el COV, el efecto de la actividad vehicular de los vehículos de pasajeros es mayor que la influencia que puedan aportar los taxis, a diferencia del caso analizado anteriormente para el CO. Recordando los antecedentes señalados en la sección 2.2.2, las emisiones evaporativas (COV) se dividen en diurnas, por detención en caliente y pérdidas durante el recorrido, donde estas últimas son las responsables de que los vehículos de pasajeros sean los más influyentes en

las emisiones de todo el día para el COV, ya que esta categoría vehicular presenta una importante actividad vehicular, dada por los km/día recorridos (tabla 4.14), lo que se traduce en mayores emisiones de COV por pérdidas por km recorrido.

Con respecto a las emisiones por partidas en frío, el comportamiento durante el día posee las mismas características descritas para el CO, descritas anteriormente. La fracción de emisiones producidas por partidas en frío, respecto del total de COV fue un 33 %, mientras que las emisiones evaporativas fueron un 17 %.

### Óxidos Nitrogenados $NO_x$

La figura 5.6 indica la evolución diaria para los óxidos nitrogenados ( $NO_x$ ) obtenidos del Modelo IVE para Santiago:

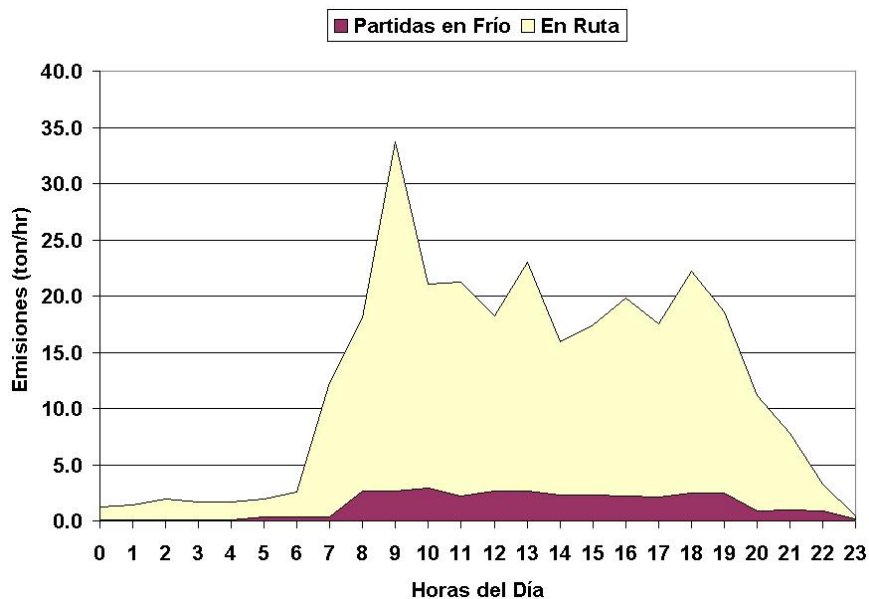


Figura 5.6: Evolución Diaria de  $NO_x$ , Santiago.

Se observa de la figura 5.6 nuevamente la presencia de un peak agudo de emisiones durante la hora 9 del día. También se observa un peak al medio día (hora 13) y un peak en la tarde (hora 18), pero mucho menores que el ocurrido en la mañana.

Para realizar el análisis de la figura 5.6 se debe considerar que las emisiones de  $NO_x$  están afectadas de manera importante por los vehículos diesel (los vehículos a gasolina también pero en menor grado), lo que en parte se refleja en la figura 5.2, donde los camiones y buses son los principales emisores de este contaminante, ubicados por debajo del aporte que hacen los vehículos de pasajeros.

El alto valor de emisiones de  $NO_x$  observado a las 9 horas tiene relación al perfil de flujo obtenido en la tabla 4.3 para los buses, donde se tienen un peak de 34 % para las 9 horas, lo que sumado a los valores de los perfiles de camiones y de vehículos de pasajeros para esa hora, justifican la elevada emisión para este horario. Con respecto a los otros dos peak (medio día y tarde), de los perfiles obtenidos en la tabla 4.13 se observa la influencia por parte de camiones en las hora 13 y, para el caso de la hora 18, es una combinación entre las tres categorías mencionadas.

En relación a las partidas en frío para este contaminante, la figura 5.6 muestra que la distribución es relativamente constante, comparado con las gráficas de CO y COV. Esto se debe a que al ser los vehículos diesel los mayores responsables de las emisiones de  $NO_x$ , no es posible ver el patrón característico de partidas en frío, básicamente porque no está presente el efecto que tiene el convertidor catalítico para encendidos con el motor frío.

## Material Particulado *MP*

La figura 5.7 indica la evolución diaria para el material particulado (*MP*) obtenidos del Modelo IVE para Santiago:

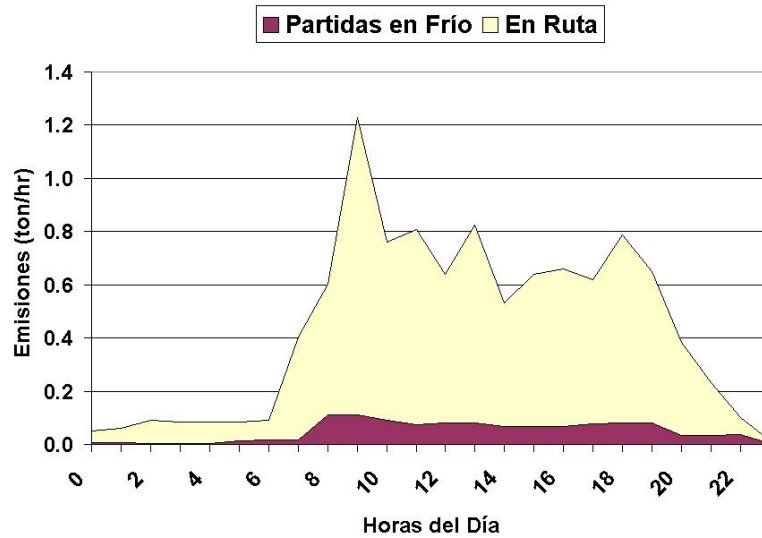


Figura 5.7: Evolución Diaria de *MP*, Santiago.

Se observa de la figura ?? nuevamente la presencia de un peak agudo de emisiones durante para la hora 9 del día. También se observa un peak al medio día (hora 13) y un peak en la tarde (hora 18), pero mucho menores que el ocurrido en la mañana.

El comportamiento de las emisiones de *MP* es muy parecido al mostrado en la figura 5.6, debido a que las emisiones de *MP* están afectadas de básicamente por los vehículos diesel, sin aporte de aquellos que utilizan gasolina. Luego, el peak en la mañana está condicionado por el comportamiento de los buses determinado en la tabla 4.3.

En relación a las emisiones por partidas en frío, se tiene un comportamiento análogo al mostrado en la figura 5.6, por las mismas razones expuestas para el caso del  $NO_x$ .

## 5.4. Inventario Anual de Emisiones Vehiculares

Para obtener las emisiones anuales de Santiago y Buenos Aires, se debe tener en cuenta que la información reunida durante las campañas de actividad vehicular representa un día hábil normal de dichas ciudades. Luego, para generar los inventarios de emisiones del año 2007, se tiene que considerar la cantidad de sábados, domingos y feriados del año, pues se estarían sobreestimando las emisiones si se considerara todo el año con igual actividad vehicular.

En el cálculo de las emisiones anuales se consideró que en el 2007 los tipos de días se reparten de la siguiente manera:

- Total de días hábiles 250.
- Total de días sábados 53. Además, se considera que la actividad vehicular diaria es un 80 % que la registrada en un día hábil normal.
- Total de días domingos y festivos 62. Además, se considera que la actividad vehicular diaria es un 50 % que la registrada en un día hábil normal.

Finalmente, las emisiones anuales determinadas con la aplicación del Modelo IVE para las ciudades de Santiago y Buenos Aires, se indican en la tabla 5.3 y 5.4.

Tabla 5.3: Inventario de Emisiones 2007 para Santiago y Buenos Aires.

	CO ton/año	COV ton/año	COV w/evap. ton/año	NOx ton/año	SOx ton/año	MP ton/año
Buenos Aires	1160556	80356	86015	105926	650	3541
Santiago	952958	68824	82652	95240	170	3373

Tabla 5.4: Inventario de Emisiones 2007 para Santiago y Buenos Aires.

	1,3 buta ton/año	Acetaldeidos ton/año	Formaldeidos ton/año	CO2 ton/año
Buenos Aires	86	342	1221	7022239
Santiago	443	847	2236	10311880

La figura 5.8 grafica las emisiones anuales para los contaminantes más importantes del inventario presentado en las tablas 5.3 y 5.4.

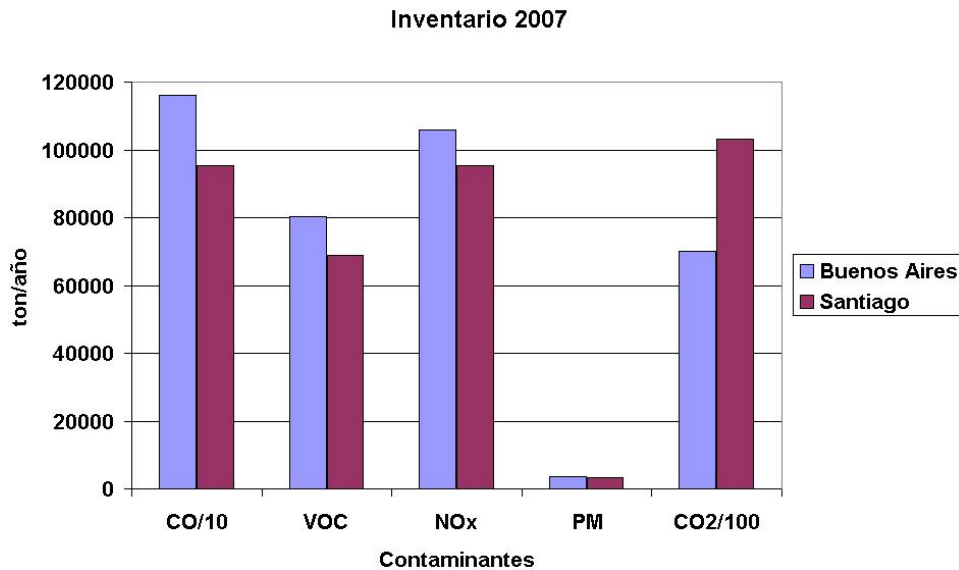


Figura 5.8: Toneladas Anuales de los Contaminantes más Importantes para Santiago y Buenos Aires.

De la figura 5.8 se observa que las emisiones anuales para Buenos Aires son superiores a las de Santiago. Los porcentajes de diferencia de toneladas emitidas en Santiago con respecto a Buenos Aires es de 18 % menos para CO, 14 % menos para COV, 10 % menos para  $NO_x$  y 5 % menos para MP. Con respecto a las emisiones de  $CO_2$ , las toneladas anuales para Buenos Aires con respecto a Santiago son un 32 % menos.

Estos resultados son interesantes ya que el hecho de que el parque vehicular de Santiago contamine menos que el de Buenos Aires, refleja el efecto que tienen las medidas de control de la contaminación de fuentes móviles en ruta (ver sección 5.1), pues Santiago ha tenido que tomar conciencia de esta problemática desde hace muchos años, debido a las condiciones geográficas desfavorables que tempranamente afectaron la calidad del aire en dicha ciudad. Esta situación no ocurre en Buenos Aires, y por lo tanto, siendo poca la presión de controlar las emisiones de la flota vehicular en el pasado, encontrándose actualmente con una flota menos numerosa que Santiago pero más contaminadora.

## Capítulo 6

# Conclusiones y Recomendaciones

A través de este trabajo de memoria se ha logrado, en lo principal, estimar las emisiones vehiculares de Santiago y Buenos Aires, así como también, caracterizar la actividad vehicular de ambas urbes a través de la aplicación de la metodología IVE (international Vehicle Emissions), con cumpliendo satisfactoriamente los objetivos planteados al inicio de este estudio. En lo que sigue de este capítulo, se explican las conclusiones y se discuten algunas recomendaciones y trabajos futuros.

### 6.1. Conclusiones

En el presente trabajo se da muestra del cálculo de emisiones en Santiago y Buenos Aires mediante la aplicación del Modelo IVE (International Vehicle Emissions), obteniéndose los inventarios de emisión para fuentes móviles en ruta al año 2007, luego de haber determinado en forma experimental la actividad vehicular propia de cada localidad, mediante una metodología común. La ciudad de Santiago resultó tener un parque automotriz más numeroso y con mayor actividad [km/día] que Buenos Aires, pero con menor nivel de emisiones, principalmente debido al mejor estándar tecnológico que posee la flota vehicular de Santiago con respecto a Buenos Aires, hecho que fue observado a partir de la información reunida en las campañas de medición en terreno de cada localidad.

Los resultados de actividad vehicular obtenidos de las campañas de medición realizadas en Santiago y Buenos Aires, son producto de aplicar fielmente la metodología planteada en el Capítulo 3, lo que permite contar con un conjunto de datos comparables entre ambas ciudades, tanto en relación a la actividad vehicular propiamente tal, como en los niveles de emisiones asociados a dicha actividad. En este contexto, en las siguientes secciones se concluye en forma específica para los dos grupos de resultados obtenidos en este trabajo.

### 6.1.1. Recopilación y Procesamiento de la Información

A pesar del parecido que existe en el nivel de desarrollo socioeconómico entre Santiago y Buenos Aires, la actividad vehicular determinada en ambas ciudades presentó diferencias en los cuatro conjuntos principales de datos que la conforman: composición de flujo vehicular, distribución tecnológica de la flota, distribución de partidas en frío y caracterización de patrones de conducción. En este sentido, se recomienda realizar campañas de medición en terreno a cada una de las ciudades de este estudio, por separado, y no extrapolar resultados de actividad vehicular que posean otras localidades con cierto parecido socioeconómico. Los principales parecidos y diferencias detectados entre la actividad vehicular de Santiago y Buenos Aires se indican a continuación.

#### Composición Dinámica de la Flota

- En ambas ciudades, las categorías vehiculares que concentran los mayores porcentajes son, en orden descendente, vehículos de pasajeros, vehículos comerciales y taxis.
- Buenos Aires tiene mayor proporción de vehículos de pasajeros (62 %) y taxis (14 %) que Santiago (49 % y 10 %, para vehículos de pasajeros y taxis, respectivamente). Sin embargo, para esta última ciudad, la proporción observada de vehículos comerciales es aproximadamente 3 veces mayor a la registrada en Buenos Aires (29 % y 12 %, respectivamente). Este hecho se debe a la fuerte entrada de vehículos SUV (Sport Utility Vehicle) que actualmente experimenta la ciudad de Santiago.
- En ambas ciudades se observó que el mayor porcentaje de vehículos de pasajeros se dio en los sectores de alto ingreso socioeconómico, mientras que para el caso de los taxis, la mayor concentración fue en las zonas comerciales. Sin embargo, la proporción de taxis observada en la zona comercial de Buenos Aires es aproximadamente el doble de Santiago (para este mismo tipo de zona), debido principalmente a la disponibilidad del uso de GNC (gas natural comprimido) como combustible, el cual es más barato que la gasolina o diesel, por lo que se incentiva el crecimiento del rubro en Buenos Aires, con respecto a Santiago.
- La proporción total de camiones observada en Santiago es aproximadamente el doble que Buenos Aires (6 % y 3 %, respectivamente), lo que genera un impacto mayor en las emisiones asociadas a la combustión de diesel ( $MP$  y  $NO_x$ ).
- La agregación de los perfiles de flujo de las distintas categorías vehiculares consideradas en este trabajo muestra la existencia de tres máximos (mañana, medio día y tarde) durante el transcurso del día, tanto en Santiago como en Buenos Aires, lo cual afectará la evolución de las emisiones de los distintos contaminantes ( $CO$ ,  $COV$ ,  $MP$  y  $NO_x$ ), según la categoría que más aporte en cada una de ellas.



### **Distribución Tecnológica**

- La principal diferencia entre las tecnologías vehiculares existentes en Santiago y Buenos Aires, es que en esta última ciudad la presencia de vehículos a gas natural es considerable (22 % en la categoría de vehículos de pasajeros y un 85 % en la categoría de taxis), a diferencia de Santiago que es prácticamente nula.
- Los vehículos de pasajeros pertenecientes a la flota de Buenos Aires presentaron una mayor fracción de unidades sin convertidor catalítico (40 %) en comparación a la proporción existente en Santiago (17 %).
- En relación a la flota de taxis de cada ciudad, para el caso de Buenos Aires esta categoría se distribuye prácticamente en vehículos diesel (14 %) y GNC (85 %), en cambio para Santiago la distribución es entre vehículos a gasolina (97 %) y diesel (3 %).
- Con respecto a la flota de camiones, en Buenos Aires existe una distribución de la subcategoría “camión liviano”, entre los que utilizan diesel (62 %), gasolina (37 %) y GNC (0.1 %), que en el caso de Santiago no existe, utilizando todos diesel como combustible.

### **Distribución de Partidas en Frío**

- La información obtenida de la conexión de los VOCE a los vehículos de pasajeros durante las campañas de medición, indicaron que el promedio de encendidos diarios del vehículo en la ciudad de Buenos Aires fue de 9 veces mientras que para el caso de Santiago fue de 11 veces.
- Para ambas ciudades los valores máximos de eventos encendidos se concentraron en las horas punta de la mañana (8 y 9 horas).
- Los eventos de encendidos más fríos y, por lo tanto, más contaminantes, se encontraron en los horarios punta mañana en ambas ciudades. Este hecho responde a la baja actividad vehicular nocturna de ambas ciudades, lo que provoca que el motor esté frío al inicio del día.

### **Patrones de Conducción**

- Se observó el efecto del tipo de calle en los modos de conducción, donde las velocidades medias obtenidas en las autopistas de Santiago y Buenos Aires, fueron en promedio superiores a las registradas en calles de tipo residencial y avenidas.
- Las velocidades medias registradas en los distintos tipos de calles (autopistas, avenida y residencial) fueron siempre menores para la ciudad de Buenos Aires, reflejando el problema de congestión que caracteriza el tránsito de esa ciudad comparado con Santiago.
- En relación a la potencia específica vehicular (VSP), el efecto del tipo de calle fue evidente para ambas ciudades, donde las calles de tipo residencial y avenidas tuvieron la mayor fracción de tiempo concentrada en el “BIN”12, lo cual caracteriza una conducción con gran número de detenciones y bajas velocidades. Sin embargo, las diferencias entre avenidas y residenciales fueron más notorias en la ciudad de Santiago (56 % y 49 %, respectivamente) que en Buenos Aires (55 % y 51 %, respectivamente).
- En relación a los resultados de VSP para las autopistas, se observó una distribución en los “BINS” de carga moderada, lo que caracteriza una conducción con velocidades mayores y aceleraciones prolongadas. Sin embargo, este efecto se vio notablemente marcado en las autopistas de Santiago con respecto a las existentes en Buenos Aires (5 % y 0,3 %, respectivamente), lo que refleja las características de alta velocidad que poseen las autopistas en Santiago. Por otra parte, la fracción de tiempo en el “BIN”12 fue menor que para los casos de calles residenciales y avenidas, observándose máximos de 20 % y 30 % para Santiago y Buenos Aires, respectivamente. Esto último indica que la conducción en autopistas tiene una menor cantidad de detenciones, en relación a los otros dos tipos de calles considerados en este trabajo.

### **Características Generales de la Flota Vehicular**

La distribución de categorías vehiculares obtenida de la revisión de datos estadísticos de Santiago y Buenos Aires, comparada con la distribución respectiva generada de las grabaciones con cámaras de video, presentaron diferencias que no superaron el 3 % para ambas ciudades. De esta forma se cuenta con datos que son comparables entre sí, pues tienen desviaciones similares con respecto a la información local disponible de cada ciudad.

### 6.1.2. Emisiones Vehiculares

Las emisiones totales para el año 2007 en la ciudad de Buenos Aires superan, para todos los contaminantes incluidos en el análisis, excepto  $CO_2$ , el total obtenido en Santiago. Este resultado es interesante pues la actividad vehicular total de Buenos Aires es aproximadamente un 15 % menor con respecto a Santiago, permitiendo concluir que la flota existente en esta última ciudad contamina menos por kilómetro recorrido que la flota de Buenos Aires. Sin embargo, la mayor actividad vehicular existente en Santiago genera niveles superiores de emisiones de  $CO_2$ , ya que este compuesto es un producto de la combustión y no es atenuada por las distintas tecnologías de control de gases de escape existentes, por lo que la tasa de emisión se relaciona proporcionalmente a la actividad vehicular, teniendo un efecto negativo en el aporte de gas de tipo invernadero a la atmósfera.

Lo anterior refleja la importancia que existe en los tipos de tecnología vehicular presentes en una determinada ciudad, pues se puede tener una flota más numerosa pero con estándares tecnológicos de control de emisiones mejores, que llevan a ser globalmente menos contaminadora que otra tipo de flota que posea menos número de vehículos, como lo es en este caso para Santiago y Buenos Aires.

Los efectos en las emisiones debido a las diferencias existentes en los cuatro grupos de datos que caracterizan la actividad vehicular de ambas ciudades se describen a continuación.

#### Aporte de Emisiones por Categoría

- En ambas ciudades los vehículos de pasajeros corresponden a la categoría que más aporta en las emisiones de CO y COV. Comparativamente, Santiago tiene mayor participación en CO (92 %) y COV (84 %) que Buenos Aires (88 % y 72 %, respectivamente), debido a que el 93 % de los vehículos de pasajeros son a gasolina para el caso de Santiago, mientras que en Buenos Aires es un 64 %.
- Para el caso del  $NO_x$ , para Santiago los vehículos de pasajeros tienen el mayor aporte de este contaminante (45 %) seguido de los camiones (34 %), mientras que en Buenos Aires el principal emisor son los camiones (48 %) seguido de los vehículos de pasajeros (35 %). Estos resultados reflejan el efecto del nivel de actividad [km/día] que tienen los vehículos de pasajeros, así como también el efecto del tipo de tecnología en los camiones de ambas ciudades, que utilizan en su mayoría diesel como combustible.
- Las emisiones de PM tienen como principal categoría emisora a la flota de camiones, tanto en Santiago (50 %) como en Buenos Aires (65 %), debido principalmente al uso de diesel como combustible.

### **Evolución Diaria de Emisiones**

- La evolución de CO y COV en Santiago está fuertemente influenciada por el perfil de flujo de vehículos de pasajeros, debido a que el 93 % son a gasolina. Sin embargo, para el caso del COV, el perfil de flujo de motos, que es la segunda categoría más incidente en este contaminante (7 %), influenció en trasladar el máximo de emisiones de las 16 horas en CO, hacia las 19 horas en COV.
- La evolución de  $NO_x$  y PM en Santiago presentan un máximo de emisiones en la hora 9 de 34 ton/hr y 1.2 ton/hr, respectivamente. Estos valores son notablemente mayores que el resto de la evolución de las emisiones durante el día. La causa de este efecto se produce por el perfil de flujo obtenido para los buses, el cual presenta un máximo de 34 % en la hora 9, que sumado a la actividad de las otras categorías que utilizan diesel, hacen que las emisiones a esta hora sean superiores. Sin embargo, este valor obtenido en el perfil de flujo de buses en Santiago fue influenciado por el punto de medición escogido en la zona comercial, caracterizado por tener un alto flujo de buses, pero que no necesariamente representa el comportamiento de esta categoría en todas las avenidas de la ciudad.
- Los resultados obtenidos por emisiones asociadas a partidas en frío para Santiago se diferencian según el tipo de contaminante. Para el caso del CO y COV existe un máximo en la mañana (hora 8), dado el efecto de las partidas con el motor más frío a esa hora del día, influenciado por la presencia del convertidor catalítico característico de los vehículos a gasolina en Santiago (77 %). En relación al  $NO_x$  y PM, la distribución horaria de las emisiones por partidas en frío es relativamente constante pues no existe el efecto del convertidor catalítico, dado que estos contaminantes están mayormente influenciados por aquellas tecnologías que utilizan diesel como combustible, las cuales no poseen convertidor catalítico.

### **Inventario Anual de Emisiones Vehiculares**

- El inventario de emisiones para el 2007 en Buenos Aires supera en los principales contaminantes a los valores obtenidos en Santiago, donde los porcentajes de diferencia en las toneladas emitidas en Santiago con respecto a Buenos Aires son de 18 % menos para el CO, 14 % menos para el VOC, 10 % menos para el  $NO_x$  y 5 % menos para el PM. Con respecto a las emisiones de  $CO_2$ , las toneladas anuales para Buenos Aires con respecto a Santiago son un 32 % menos.
- A pesar de que los inventarios de emisiones obtenidos en este trabajo indican que Buenos Aires posee mayores flujos de emisión que Santiago, el efecto de producir una unidad adicional de cualquiera de estos contaminantes es mayor para esta Santiago que Buenos Aires, debido a que las características geográficas que posee Santiago dificultan la ventilación diaria de la ciudad.

## **6.2. Recomendaciones**

La aplicación del Modelo IVE para calcular los inventarios de emisiones vehiculares para el año 2007 en Santiago y Buenos Aires, representan una primera aproximación del orden de magnitud de las emisiones que genera la actividad vehicular característica de cada una de las dos ciudades, los cuales son útiles para comenzar a apuntar o guiar las políticas ambientales más urgentes que regulen el parque vehicular. En este contexto, la toma de decisiones definitivas en cualquiera de las dos ciudades de este trabajo, Santiago y Buenos Aires, debiera incluir estudios extras relacionados, pues en la aplicación del Modelo IVE se utilizaron factores de emisión que no eran propios de cada ciudad, por lo que se podría estar sobrestimando o subestimando las emisiones en algún tipo de contaminante. Además, la información derivada de las campañas de medición en terreno no son representativas de lo que ocurre en cada una de las ciudades, si se tiene en cuenta que se abarcaron sólo tres áreas dentro de cada ciudad durante 6 días.

Por otra parte, se recomienda realizar campañas para determinar factores de emisiones correspondientes los tipos de categorías vehiculares existentes en cada una de las ciudades, pues en este trabajo se aplicó el Modelo IVE con factores de emisiones pertenecientes a la base de datos del modelo. De esta forma se podrán obtener resultados de este modelo más cercanos de lo que ocurre en cada ciudad, pero aún siendo una primera aproximación del orden de magnitud de las emisiones de cada ciudad.

## Anexo A

# Tipos de Datos de Entrada al Modelo IVE

### A.1. Perfiles de Flujo Vehicular

La figura A.1 muestra un ejemplo del perfil de flujo que debe determinarse a partir de los datos obtenidos de la grabación con cámaras de video.

Input	Travel (%/hr)										
Time	PCHwy	PCRes	PCArt	2wHwy	2wRes	2wArt	Taxi	3w	Bus	LHTruck	DTruck
0	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	0%	1%	1%	1%
1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%
6	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	0%	1%	1%	1%
7	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	0%	5%	4%	4%
8	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	0%	8%	4%	4%
9	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	0%	7%	5%	5%
10	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	0%	6%	9%	9%
11	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	0%	7%	10%	10%
12	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	0%	7%	10%	10%
13	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	0%	6%	8%	8%
14	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	0%	6%	7%	7%
15	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	0%	6%	7%	7%
16	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	0%	7%	5%	5%
17	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	0%	7%	5%	5%
18	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	0%	7%	5%	5%
19	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	0%	5%	5%	5%
20	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	0%	5%	5%	5%
21	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	0%	4%	4%	4%
22	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	0%	2%	3%	3%
23	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	0%	1%	1%	1%
total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%

Figura A.1: Perfil de Flujo Vehicular, Sao Paulo 2004.

## A.2. Archivos de Flota

La tabla A.1 muestra una parte del archivo de flota que debe ser completado con la información tecnológica reunida durante la realización de la campaña de actividad vehicular

Tabla A.1: Extracto de Archivo de Flota para Vehículo de Pasajeros, Sao Paulo 2004.

Fleet:	PC Fleet Sao Paulo2004						
Description	Fuel	Weight	Air/Fuel Control	Exhaust Control	Age	Index	
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Carburetor	None	≤ 79K km	0	0.01280
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Carburetor	None	80-161K km	1	0.01870
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Carburetor	None	≥ 161K km	2	0.01609
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Carburetor	None	≤ 79K km	3	0.07093
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Carburetor	None	80-161K km	4	0.05959
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Carburetor	None	≥ 161K km	5	0.07134
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Carburetor	None	≤ 79K km	6	0.01175
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Carburetor	None	80-161K km	7	0.00832
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Carburetor	None	≥ 161K km	8	0.00508

### A.3. Distribución de Partidas en Frío

La figura A.2 muestra un ejemplo de la distribución de encendidos generada a partir de los datos obtenidos los VOCE.

Input	Travel (%/hr)										
Time	PCHwy	PCRes	PCArt	2wHwy	2wRes	2wArt	Taxi	3w	Bus	LHTruck	DTruck
0	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	0%	1%	1%	1%
1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%
6	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	0%	1%	1%	1%
7	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	0%	5%	4%	4%
8	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	0%	8%	4%	4%
9	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	0%	7%	5%	5%
10	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	0%	6%	9%	9%
11	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	0%	7%	10%	10%
12	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	0%	7%	10%	10%
13	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	0%	6%	8%	8%
14	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	0%	6%	7%	7%
15	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	0%	6%	7%	7%
16	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	0%	7%	5%	5%
17	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	0%	7%	5%	5%
18	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	0%	7%	5%	5%
19	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	0%	5%	5%	5%
20	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	0%	5%	5%	5%
21	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	0%	4%	4%	4%
22	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	0%	2%	3%	3%
23	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	0%	1%	1%	1%
total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%

Figura A.2: Extracto de Distribución de Partidas, Sao Paulo 2004.



#### A.4. Resultados por Hora de BINS de Potencia

La tabla A.2 muestra un extracto de la distribución final de BINS de Potencia obtenida de procesar la información registrada con los GPS.

Tabla A.2: Extracto de Distribución Horaria de BINS de Potencia para Taxis, Sao Paulo 2004.

HOUR 7: POWER BINS									
0	0	0	0	0,0003	0,0004	0,0016	0,0023	0,0058	0,0171
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HOUR 8: POWER BINS									
0,0002	0,0003	0,0001	0,0002	0,0001	0,001	0,0023	0,0044	0,0072	0,0233
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HOUR 9: POWER BINS									
0,0002	0,0001	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	0,002	0,005	0,0109	0,02
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HOUR 10: POWER BINS									
0,0001	0,0001	0,0002	0,0005	0,0006	0,0014	0,0026	0,0059	0,0121	0,0237
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Referencias

- [1] *Parque de Vehículos en Circulación 2006*, Instituto Nacional de Estadística INE, 2006
- [2] *World Resource Institute 1998-1999, The Global Commons: Proceed with Caution. Growth in the Global Motor Vehicle Fleet*. <http://www.wri.org/wr-98-99/autos.html>, 2004.
- [3] *Asian Development Bank, Reducing Vehicle Emission in Asia. Policy Guidelines for Reducing Vehicle Emissions in Asia*, Publication Stock No. 110202 Copyright 2003. pp. 9-11.
- [4] *United Nations (U.N.) Population Division, World Population Prospect 1950-2050: The 1996 revision, Annex 1: Demographic Indicators (U.N., New York, 1997)*, pp. 11-45.
- [5] *Actualización del Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos en la Región Metropolitana, Santiago, Chile. Comisión Nacional de Medio Ambiente, CONAMA. 2005.*
- [6] *ISSRC, Cleaning the air: How Clean Air is Possible and Affordable by 2013. An Alternative State Implementation plan for the San Joaquin Valley, Enero, 2007.*
- [7] *CARB, California Air Resources Board EMFAC model*, see [www.arb.ca.gov/msei.html](http://www.arb.ca.gov/msei.html). Julio, 2004
- [8] *EPA, MOBILE Vehicle Emissions Modeling Software*. <http://www.epa.gov/otaq/m6.html>. Julio, 2004
- [9] *European Environment Agency, COPERTII Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport-Methodology and Emission Factors. Technical Report, Octubre-1999.* <http://reports.eea.eu.int/TEC06/en/tab-abstract-RLR>, Julio, 2004
- [10] [www.issrc.org](http://www.issrc.org)
- [11] *Hans Peter Lenz and Christian Cozzarini, Emissions and Air Quality*, SAE International, U.S.A, 1999.
- [12] *H. Power and J. M. Baldosano, Air Pollution Emissions Inventory, Computational Mechanics Publications, 2002*
- [13] *Roberto Corvalán, Tópicos Avanzados de Contaminación Atmosférica, Apuntes del curso ME740, Departamento Ingeniería Mecánica, Universidad de Chile.*

- [14] *Jaime Henríquez, Determinación Experimental de Factores de Emisión para Vehículos Livianos, 2007.*
- [15] *Anders Hedbom, Cold Start of Catalyst Vehicles, MTC Sweden, 1992.*
- [16] *Mauricio Osses, Actualización de Modelo de Cálculo de Estimación de Emisiones MODEM, Departamento de Ingeniería Mecánica, 2007*
- [17] *Sigsby, J., Jr.; Tejada, S.; Ray, W. Volatile Organic Compound Emissions from 46-in use Passengers Cars, Environ. Sci. Technol. 1987, 21, 466-475.*
- [18] *Heywood, J.B. Internal Combustion Engine Fundamentals; McGraw-Hill: New York, 1988.*
- [19] *An, F.; Barth, M.; Scora, G.; Younglove, T. Catalyst Cold-Start Characterization and Modelling. Presented at the Sixth CRC On-Road Vehicle Emissions Workshop, San Diego, CA, 1996.*
- [20] *Predicted California On-Road Motor Vehicle Emissions (BURDEN7F); Mobile Source Emission Inventory Branch. California Air Resources Board: Sacramento, CA, 1993.*
- [21] *Ericsson Eva, 1999, Variability in Urban Driving Patterns, Department of Traffic Planning; Lund Suecia.*
- [22] *De Vlieger, D. De Keukeleere, J.G. Kretzschmar, 1999, Driving Behaviour and Congestion: Environmental Effects by Passenger Cars, Flemish Institute for Technological Research, Bélgica.*
- [23] *K.S. Nesamani, K.P. Subramanian. Impact of Real-World Driving Characteristic on Vehicular Emissions. JSME International Journal, Series B, Vol 49, No 1, 2006.*
- [24] *IVE Model. User's Guide, Model and Data Files. <http://www.issrc.org>, Julio, 2004.*
- [25] *James Lents et al., Transportation Research Board, 81<sup>st</sup> Annual Meeting: Development and Application of an International Vehicle Emission Model. Enero, 2005.*
- [26] *Malcolm, C., T. Younglove, J. Tientjen, M. Barth, N. Davis and J. Lents. Understanding Real-World Vehicle activity Patterns and Vehicle Fleet Distribution in the SoCAB. Proceedings of the 12<sup>th</sup> CDC On-Road Vehicle Emissions Workshop, San Diego, 2002.*
- [27] *T. Younglove, C. Malcolm, G. Scora and M. Barth. Observed On-Road Vehicle Fleet Differences and Their Effect on Emissions. Proceedings of the 12<sup>th</sup> CDC On-Road Vehicle Emissions Workshop, San Diego, 2002.*
- [28] *Barth, M., E. Johnston and R. Tadi.(1996) Using GPS Technology to Relate Macroscopic and Microscopic Traffic Parameters, Transportation Research Record No. 1520, pp. 89-96, Transportation Research Board, National Academy of Science.*

- [29] *Malcolm, C., T. Younglove, M. Barth, N. Davis and J. Lents. (2002) Developing Link Emission Factors in the Southern California Air Basin, Proceedings of the 12<sup>th</sup> CDC On-Road Vehicle Emissions Workshop, San Diego, 2002.*
- [30] *Arié Araya, Metodología de Cálculo de Emisiones Vehiculares Basado en Modos de Conducción y Potencia Específica Vehicular, 2007.*