

IV MODELO DE EMISIONES Y EVALUACIÓN ECONÓMICA

IV.1 MODELO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES.

Existen innumerables contaminantes que son emitidos a la atmósfera por las fuentes móviles, a continuación se muestran las principales características y efectos de los contaminantes más importantes emitidos por las fuentes móviles¹.

IV.1.1 MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE: MP O PM10

El PM10 se puede definir como partículas sólidas o líquidas, como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen dispersas en la atmósfera, cuyo diámetro es inferior a 10 μm (1 micrómetro corresponde la milésima parte de 1 milímetro).

El material particulado respirable se ha clasificado de acuerdo a dos tamaños: PM10 y PM2.5. El primero es aquel con partículas gruesas en su mayoría de pH básico producto de la combustión no controlada y de procesos de desintegración mecánica. El segundo tamaño, agrupa a partículas generalmente ácidas, que contienen hollín y otros derivados de las emisiones vehiculares e industriales, y corresponde a la fracción más pequeña y agresiva debido a que éstas son respirables en un 100% y por ello se alojan en bronquios, bronquiolos y alvéolos.

Otras sustancias que pueden estar presentes en las partículas son el plomo, arsénico, berilio, cadmio, mercurio, sulfatos, nitratos e hidrocarburos policíclicos aromáticos.

Los efectos en la salud vinculados a la exposición prolongada a este contaminante corresponden a un aumento en la frecuencia de cáncer pulmonar, muertes prematuras, agravamiento en casos de asma, agravamiento en caso de enfermedades cardiovasculares, síntomas respiratorios severos e irritación de ojos y nariz. Además su acumulación en los pulmones origina enfermedades como la Silicosis y la Asbestosis.

El factor determinante en el efecto en salud es el tamaño de las partículas, debido al grado de penetración y permanencia que ellas tengan en el sistema respiratorio. La mayoría de las partículas cuyo diámetro es mayor que 5 μm se depositan en las vías aéreas superiores, tráquea y los bronquios. Aquéllas cuyo diámetro es inferior tienen mayor probabilidad de depositarse en los bronquiolos y alvéolos. Una vez que las partículas se han depositado en el sistema respiratorio, su acción irritante es producto por una parte, de su composición química y su toxicidad; y por otra, de su facilidad de absorber otras sustancias en su superficie, produciéndose un efecto sinérgico que incrementa su agresividad.

Un ejemplo dramático del efecto sinérgico mencionado corresponde a los episodios registrados en Londres en la década del cincuenta, en los cuales la presencia simultánea de SO₂ y partículas en determinadas concentraciones provocaron numerosas muertes. Dados los niveles existentes de este contaminante en la ciudad de Santiago, los principales beneficios en salud del Plan de descontaminación Ambiental serán producto de disminuciones en sus concentraciones, especialmente de su fracción fina, que es la más agresiva.

¹ Basado en información del Plan de Descontaminación de Santiago y de información de la pagina web www.conama.cl

IV.1.1.1 METANO: CH₄

Es un gas inodoro, incoloro y asfixiante, que puede explotar bajo ciertas condiciones de mezcla con aire y que puede producirse a partir de residuos sólidos cuando estos experimentan una descomposición anaerobia. Se produce por numerosos procesos, generalmente relacionados con la vegetación, por ejemplo, la quema, su digestión o la descomposición en ausencia de oxígeno.

Se piensa que grandes cantidades de metano se liberan en los campos de arroz, donde la vegetación se descompone en los suelos pantanosos. El ganado, especialmente el bóvido, es otra fuente importante de metano, debido al sistema digestivo que éstos tienen. Se estima que entre los campos de arroz y el ganado bovino se produce el 35% de las emisiones de metano en el mundo. El Metano tiene una fuerte incidencia sobre el efecto invernadero.

IV.1.1.2 MONÓXIDO DE CARBONO: CO

Se trata de un gas tóxico, incoloro e inodoro. El monóxido de carbono es producto de la combustión incompleta de compuestos carbonados y algunos procesos industriales y biológicos. Los principales aportes resultan de las emisiones vehiculares y al interior del hogar, de estufas, cocinas, humo del cigarrillo y calefontes.

Reacciona con la hemoglobina en lugar del oxígeno, dada su afinidad notoriamente superior, para formar carboxihemoglobina. Afecta la salud interfiriendo con el transporte de dicho elemento (O₂) al corazón y otros músculos, y también al cerebro. Por esto, individuos con enfermedades coronarias sufren un riesgo mayor frente a exposiciones de CO. Otros efectos en salud ligados a este contaminante son aumento de angina en pacientes susceptibles, disminución en las funciones neuroconductuales, efectos perinatales como menor peso del feto y retardo del desarrollo post-natal. En altas concentraciones, provoca la muerte.

El tiempo de vida media de este gas en la atmósfera es de aproximadamente 1 mes, pero eventualmente se oxida y pasa a convertirse en dióxido de carbono (CO₂), gas que a su vez, contribuye al efecto invernadero.

IV.1.1.3 AMONÍACO NH₃:

El amoníaco (NH₃) es un gas alcalino e incoloro, compuesto de nitrógeno e hidrógeno con un olor punzante característico, altamente soluble en agua, que se hace perceptible en concentraciones sobre las 50 partículas por millón (ppm). A temperatura ambiente, el amoníaco puro (NH₃) condensa a -33° C en un líquido incoloro y fácilmente movible, y que a -78° C solidifica para dar cristales incoloros y transparentes.

Este elemento tiene características perjudiciales para la salud: la respiración de gases que contengan NH₃ puede producir, entre otras cosas, un aumento de la presión sanguínea, mientras que una exposición duradera puede causar la muerte. Lo mismo sucede con la disolución acuosa concentrada si se ingiere por error. El amoníaco gaseoso es irritante de la piel, ojos y vías respiratorias. Por ingestión, provoca efectos corrosivos en boca, esófago y estómago. Los síntomas más frecuentes, bajo condiciones de concentración moderada, son: Sensación de quemazón en ojos, cavidades nasales y garganta, dolor pulmonar, cefalea, náuseas, lagrimeo, tos y aumento de la función respiratoria. Vapores de muy alta concentración pueden provocar edema pulmonar, neumonía y en algunos casos puede causar quemaduras en la mucosa y la piel.

IV.1.1.4 Oxidos de Nitrógeno: NOx

Este compuesto es generado naturalmente por acción volcánica, bacteriana y por tormentas eléctricas. Sus fuentes antropogénicas, residen principalmente en procesos de quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas metano, etc.) a altas temperaturas. Es un importante precursor de la formación de ozono. Al interior del hogar, sus principales fuentes son las cocinas a gas, las estufas de parafina y los hornos. La mayoría de los óxidos de nitrógeno (NOx) generados por el hombre se producen por la oxidación de nitrógeno atmosférico presente en los procesos de combustión a altas temperaturas. El contaminante generado en forma primaria es el NO, parte del cual rápidamente se oxida a NO₂. Ambos óxidos, liberados a la atmósfera, participan activamente en un conjunto de reacciones fotoquímicas que, en presencia de hidrocarburos reactivos, generan ozono (O₃).

La intoxicación por gases nitrosos se debe, principalmente, al dióxido de nitrógeno y produce trastornos no menores en la salud como irritación de la piel y mucosas, aumento del metabolismo antioxidante y daño celular en el pulmón.

La formación de ácido nitroso/nítrico en el tejido pulmonar daña las paredes capilares, causando edema luego de un período de latencia de 2-24 horas. Los síntomas típicos de la intoxicación aguda son ardor y lagrimeo de los ojos, tos, disnea y finalmente, la muerte.

IV.1.1.5 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES: COV

Los COVs, que son todos aquellos compuestos orgánicos que tienen una apreciable presión de vapor. Esta es una de las sustancias que no cuentan con una normativa que regule sus concentraciones máximas, pero no por ello es menos peligrosa para la vida de los seres humanos y otros seres vivos. Los compuestos orgánicos volátiles (COVs) forman la mayor parte de las emisiones de los procesos industriales. Se encuentran presentes en bajas concentraciones en las corrientes de salida de gases y son considerados contaminantes atmosféricos debido a su toxicidad y a los malos olores que producen.

Es necesario considerar que existen dos grupos principales de compuestos orgánicos:

Compuestos orgánicos volátiles (COVs) que son emitidos principalmente a través de la combustión parcial de carburantes y a través de la evaporación de disolventes orgánicos. De ellos destacan el benceno y el 1,3-butadieno por ser potencialmente cancerígenos. Ambos son emitidos principalmente a través de la combustión de petróleo y sus derivados y son sustancias cancerígenas conocidas.

Compuestos aromáticos policíclicos (PAH): son compuestos emitidos en cantidades pequeñas a la atmósfera pero son potencialmente cancerígenos.

Existen otros COVs importantes debido al papel que juegan en la formación fotoquímica de ozono en la atmósfera.

IV.1.1.6 ÓXIDO NITROSO: N₂O

Los procesos de combustión también pueden formar N₂O, pero éste normalmente es considerado como un gas que produce recalentamiento de la tierra y no como un problema para la salud. El Óxido Nitroso es un gas licuado incoloro y tiene un olor dulce. A altas concentraciones, el Óxido Nitroso es un anestésico y la sobre-exposición producirá síntomas de somnolencia, debilidad, y

pérdida de la coordinación. A concentraciones mayores, el gas actuará como un asfixiante por desplazamiento del Oxígeno.

IV.1.1.7 DIÓXIDO DE CARBONO: CO₂

Este gas es producido en forma natural por los seres vivos durante el proceso de respiración es también emitido durante los procesos de combustión completa. Este contaminante no produce daños directos a los seres humanos pero es uno de los principales gases de invernadero que producirían un aumento de la temperatura en el planeta.

IV.1.1.8 DIÓXIDO DE AZUFRE: SO₂

El dióxido de azufre (SO₂) es un gas incoloro, no inflamable y de olor sofocante. Condensa (líquido incoloro) a -10°C y solidifica a -72°C. Es soluble en agua (85% a 25°C) y en los solventes orgánicos.

La lluvia ácida es producto de concentraciones elevadas de dióxido de azufre (SO₂) como precursora, ya que es a partir del SO₃ (la sustancia anterior sumada a otra molécula de oxígeno), al contacto con la humedad ambiental, es cuando se genera el H₂SO₄ (lluvia ácida).

Este contaminante es el resultado de la combustión del azufre contenido en los combustibles fósiles (petróleos combustibles, gasolina, petróleo diesel, carbón, etc.), de la fundición de minerales que contienen azufre y de otros procesos industriales. Durante su proceso de oxidación en la atmósfera, este gas forma sulfatos, es decir, sales que pueden ser transportadas en el material particulado respirable (PM₁₀) y que en presencia de humedad forman ácidos. Luego, estos ácidos son una parte importante del material particulado secundario o fino (PM_{2.5}).

El dióxido de azufre (SO₂) también se ha asociado a problemas de asma y bronquitis crónica, aumentando la morbilidad y mortalidad en personas mayores y niños. Otras enfermedades que produce este contaminante son Opacamiento de la córnea (queratitis), Dificultad para respirar, Inflamación de las vías respiratorias, Irritación ocular por formación de ácido sulfuroso sobre las mucosas húmedas, Alteraciones psíquicas, Edema pulmonar, Paro cardíaco y Colapso circulatorio.

IV.2 MODELO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES

Durante el año 2000 se creó en el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile la primera versión de un modelo de estimación de emisiones vehiculares (MEEV), desarrollada para funcionar sobre el modelo de transporte emme/2 y con parámetros que permitieran representar la ciudad de Santiago. Este modelo era capaz de estimar las emisiones directas para seis contaminantes

- Monóxido de Carbono (CO)
- Hidrocarburos (HC)
- Óxidos de Nitrógeno (NO_x)
- Material particulado respirable directo (PM10).
- Material particulado respirable resuspendido (PM10).
- Material particulado fino resuspendido (PM2,5)

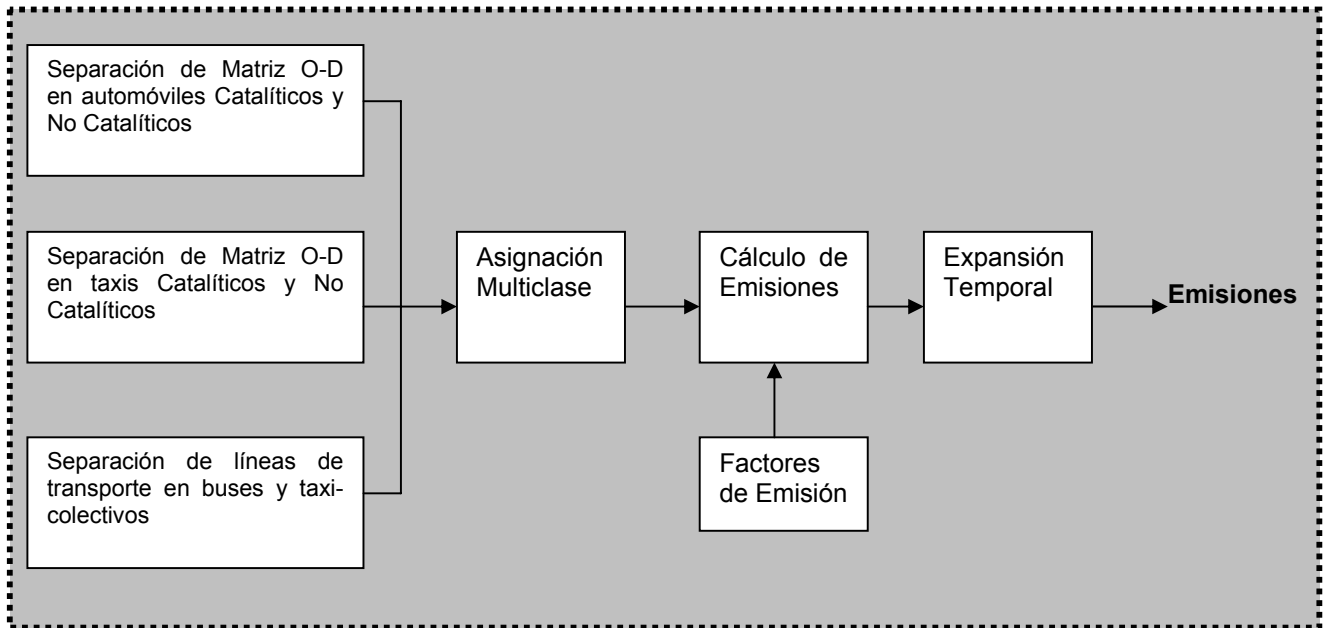
En el MEEV se incorporan los factores de emisión que corresponden a las emisiones directas (no considera partidas en frío o emisiones evaporativas) de contaminantes atmosféricos que genera cada tipo de vehículo existente en la flota bajo estudio. Estos factores son una función de la velocidad media de desplazamiento de los vehículos, existiendo distintas curvas dependiendo del tipo de vehículo y contaminante.

Este modelo permite obtener en forma separada las emisiones de seis categorías de vehículos (no considera camiones y los vehículos comerciales livianos están incluidos dentro de las emisiones de automóviles).

- Automóviles con convertidor catalítico.
- Automóviles sin convertidor catalítico.
- Taxis con convertidor catalítico.
- Taxis sin convertidor catalítico.
- Taxi colectivos.
- Buses

El MEEV fue creado como una serie de macros del modelo de Santiago, por lo tanto se obtiene una sencilla interacción entre el modelo de transporte y el de emisiones, sin embargo, el proceso de ingreso de variables y matrices no está completamente automatizada lo que significa un gran consumo de tiempo del usuario para poder correr el modelo y para el posterior análisis de los datos entregados por éste. Los pasos que se siguen para obtener las emisiones se pueden apreciar en la siguiente figura y se encuentran detallados a continuación.

**Figura N° IV.1:
Modelo de Estimación de Emisiones Vehiculares**



1. Separación de las salidas de Autos y Taxis en catalíticos y no catalíticos

El modelo de transporte de Santiago (STGO) no considera una diferencia entre los automóviles catalíticos y no catalíticos, pero para un modelo de emisiones esta diferencia es fundamental. Por esto las matrices origen-destino de los automóviles y taxis se deben separar. Para esto cada matriz origen destino es multiplicada con un vector que contiene una estimación de la proporción de vehículos catalíticos que tienen como origen cada zona de la ciudad. Con esto se obtiene cuatro matrices origen-destino (Matriz O-D Autos Catalíticos, Matriz O-D Autos No Catalíticos, Matriz O-D Taxis Catalíticos y Matriz O-D Taxis NO Catalíticos) en vez de las dos existentes inicialmente.

2. Separación y Calculo del flujo de las líneas de Transporte Público

Para calcular en forma separada las emisiones provenientes de estas dos categorías se deben crear nuevos atributos extra que contengan los flujos del transporte publico sobre cada arco.

3. Asignación Multiclase

Una vez que se han separado las distintas categorías se realiza una asignación multiclase que considere las nuevas matrices origen-destino de automóviles y taxis (debe considerarse que la partición modal no se ve afectada por esta nueva asignación).

4. Aplicación de los factores de emisión

Una vez hecha la asignación se obtienen los flujos y velocidades sobre el arco para cada categoría considerada. Con esta información se pueden aplicar los factores de emisión obteniéndose las emisiones por categoría durante la hora punta de la mañana.

Los factores de emisión utilizados por este modelo fueron obtenidos a partir de los factores de emisión utilizados en la actualización del inventario de emisiones de la región metropolitana² y de los factores de emisión usados en el modelo MODEM³. En el caso de los factores de emisión de polvo resuspendido fueron obtenidos a partir de la metodología propuesta por la EPA⁴ y la medición de concentraciones de polvo sobre la superficie de las calles de Santiago realizado por INTEC-Chile en 1994. Estos factores fueron utilizados por la CONAMA en el inventario de emisiones atmosféricas de la Región Metropolitana [CONAMA 1997].

5. Factores de Expansión Temporal

Dado que el modelo entrega valores sólo para la hora punta de la mañana es necesario aplicar un factor que permita obtener las emisiones diarias en la ciudad. Para esto se construyó un perfil de tráfico diario normalizado con respecto a la hora punta mañana representativo para la ciudad de Santiago. Al aplicar este factor a las emisiones para la hora punta se puede obtener las emisiones diarias.

Se corrió este modelo de emisiones sobre un escenario base del año 2005, obteniéndose las siguientes emisiones diarias:

Tabla Nº IV.1 Emisiones por Categoría (kg./día)

	CO	HC	NOx	PM10 direct.	PM10 resusp	pm2,5 resusp
Autos Catalíticos	36.832	2.958	10.269	209	10.223	2.445
Autos No Catalíticos	310.692	23.048	23.345	1.021	5.173	1.237
Taxis Catalíticos	581	48	172	3	118	28
Taxis No Catalíticos	2.133	133	160	4	24	6
Colectivos	7.869	494	834	18	380	91
Buses	26.224	10.548	85.755	5.082	75.018	17.939
Total	384.331	37.229	120.535	6.337	90.936	21.746

Fuente: Elaboración Propia

Es posible comparar los resultados logrados con este modelo con otros modelos que estiman las emisiones de fuentes móviles.

² Estos factores fueron desarrollados por el departamento de ingeniería mecánica de la Universidad de Chile por encargo de la CONAMA. Fueron producidos a partir de mediciones realizadas en sus laboratorios y de factores de emisión de los modelos europeos de emisiones COPERT II y III.

³ Desarrollado por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile en el estudio Análisis de Evaluaciones y Reevaluaciones ExPost, VI Etapa

⁴ Ver AP-42, Quinta Edición, Volumen 1, Capítulo 13.

Tabla N° IV.2 Comparación Emisiones anuales por Fuentes Móviles año 1997

Fuentes Móviles	MEEV (Año Base 2005) [Ton/año]	MODEM ⁵ (Año Base 1997) [Ton/año]	Inventario Emisiones ⁶ (Año Base 1997) [Ton/año]
CO	132.871	113.313	225.346
COV ⁷	12.758	11.401	28.332
Nox	40.009	33.155	30.640
PM10 directo	2.084	1.621	2.682
PM10 resusp.	27.156	N/a	28.236
PM2,5 resusp.	6.494	N/a	N/a

Fuente: Elaboración Propia sobre la base de las fuentes citadas

Se puede apreciar que los resultados obtenidos son muy similares a los obtenidos con el modelo MODEM. Llama la atención la diferencia existente con las estimaciones realizadas para el inventario de emisiones, especialmente en las emisiones de Monóxido de Carbono y las emisiones de COV.

El inventario de emisiones no considera solamente la red urbana, sino que además considera las principales carreteras de la región metropolitana. Esto puede explicar la diferencia entre las emisiones de este modelo y las emisiones obtenidas con el MODEM.

En el caso de las emisiones de COV las diferencias se pueden explicar ya que en el caso del inventario de emisiones se consideraron también las emisiones evaporativas de los vehículos.

⁵ Departamento Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile (2000), Análisis de Evaluaciones y Reevaluaciones ExPost, VI Etapa.

⁶ Conama (1997), Inventario de Emisiones Atmosféricas de la Región Metropolitana para 1997 y Proyecciones al 2005.

⁷ MODEM y MEEV solo consideran los Hidrocarburos totales (HC) como Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), el inventario de emisiones considera además de las emisiones por tubo de escape las emisiones evaporativas.

IV.3 MODIFICACIONES AL MODELO DE EMISIONES

Como parte del presente estudio se realizaron múltiples mejoras al modelo de emisiones las que permitieron incorporar algunos contaminantes adicionales, también se considera la existencia de emisiones por partida en frío y se incorporan nuevas categorías vehiculares.

IV.3.1 FACTORES DE EMISIÓN CONSIDERADOS

Se aumento a nueve el numero de contaminantes en caliente considerados, las emisiones implementadas en el MEEV son las siguientes:

- CO : Monóxido de Carbono.
- NO_x : Óxidos de Nitrógeno.
- PM10 : Material particulado directo.
- CH₄ : Metano.
- N₂O : Óxido Nitroso.
- NH₃ : Amoníaco.
- COV : Compuestos Orgánicos Volátiles, tanto de emisiones directas como de pérdidas por emisiones evaporativas durante el recorrido.
- SO₂ : Dióxido de Azufre.
- CO₂ : Dióxido de Carbono.

Las categorías de vehículos consideradas ahora por el modelo son quince:

- Automóviles con convertidor catalítico.
- Automóviles sin convertidor catalítico.
- Taxicolectivos con convertidor catalítico.
- Taxicolectivos sin convertidor catalítico.
- Taxis con convertidor catalítico.
- Taxis sin convertidor catalítico.
- Vehículos comerciales livianos con convertidor catalítico.
- Vehículos comerciales livianos sin convertidor catalítico.
- Vehículos comerciales livianos diesel.
- Camiones de dos ejes.
- Camiones de más de dos ejes.
- Buses licitados con tecnología pre EURO I
- Buses licitados con tecnología EURO I
- Buses licitados con tecnología EURO II
- Buses licitados con tecnología EURO III

Los factores de emisión considerados para cada una de las categorías se detallan en las siguientes tablas. Se puede ver en ellas que los factores de emisión de los automóviles, taxis y taxicolectivos son los mismos pero se ha decidido mantenerlos como categorías separadas ya que sus flujos se calculan de formas distintas. Los factores de emisión considerados son los mismos que utiliza el MODEM.

Tabla N° IV.3 Factores de emisión de Monóxido de Carbono (CO) en fuentes móviles.

CATEGORÍA	Factores de Emisión
Automóviles con convertidor catalítico.	$28,884 \cdot V^{-0,8384}$
Automóviles sin convertidor catalítico.	$0,0203 \cdot V^2 - 2,2662 \cdot V + 77,661$
Taxicolectivos con convertidor catalítico	$28,884 \cdot V^{-0,8384}$
Taxicolectivos sin convertidor catalítico.	$0,0203 \cdot V^2 - 2,2662 \cdot V + 77,661$
Taxis con convertidor catalítico.	$28,884 \cdot V^{-0,8384}$
Taxis sin convertidor catalítico.	$0,0203 \cdot V^2 - 2,266 \cdot V + 77,661$
Veh. Com. Con convertidor catalítico	$0,00060 \cdot V^2 - 0,0475 \cdot V + 2,2195$
Veh. Com. Sin convertidor catalítico	$0,01104 \cdot V^2 - 1,5132 \cdot V + 57,789$
Veh. Com. Livianos diesel.	$0,00020 \cdot V^2 - 0,0256 \cdot V + 1,8281$
Camiones de dos ejes.	$37,280 \cdot V^{-0,6945}$
Camiones de mas de dos ejes.	$37,280 \cdot V^{-0,6945}$
Buses Licitados Pre EURO I	$43.647 \cdot V^{(-1.0301)}$
Buses Licitados EURO I	$32.735 \cdot V^{(-1.0301)}$
Buses Licitados EURO II	$30.553 \cdot V^{(-1.0301)}$
Buses Licitados EURO III	$21.387 \cdot V^{(-1.0301)}$

Fuente: DIM, 2000, Análisis de Evaluaciones y Reevaluaciones ExPost, VI Etapa
COPERT III, Methodology and emission factors (Version 2.1, Noviembre 2000)

Tabla N° IV.4 Factores de emisión de Óxidos de Nitrógeno (NOx) en fuentes móviles.

Categoría	Factores de Emisión
Automóviles con convertidor catalítico.	$4 \times 10^{-6} \cdot V^3 - 0,0004 \cdot V^2 + 0,0104 \cdot V + 0,5047$
Automóviles sin convertidor catalítico.	$1 \times 10^{-5} \cdot V^3 - 0,0021 \cdot V^2 + 0,0911 \cdot V + 1,167$
Taxicolectivos con convertidor catalítico	$4 \times 10^{-6} \cdot V^3 - 0,0004 \cdot V^2 + 0,0104 \cdot V + 0,5047$
Taxicolectivos sin convertidor catalítico.	$1 \times 10^{-5} \cdot V^3 - 0,0021 \cdot V^2 + 0,0911 \cdot V + 1,167$
Taxis con convertidor catalítico.	$4 \times 10^{-6} \cdot V^3 - 0,0004 \cdot V^2 + 0,0104 \cdot V + 0,5047$
Taxis sin convertidor catalítico.	$1 \times 10^{-5} \cdot V^3 - 0,0021 \cdot V^2 + 0,0911 \cdot V + 1,167$
Veh. Com. Con convertidor catalítico	$0,0000575V^2 - 0,00548V + 0,4880$
Veh. Com. Sin convertidor catalítico	$0,00009V^2 - 0,0079V + 1,9391$
Veh. Com. Livianos diesel.	$0,00014 V^2 - 0,01592 V + 1,4921$
Camiones de dos ejes.	$92,584 \cdot V^{-0,7393}$ (0 a 60 km/h) $0,0006 \cdot V^2 - 0,0941 \cdot V + 7,7785$ (>60 km/h)
Camiones de mas de dos ejes.	$108.36 V^{-0.6061}$
Buses Licitados Pre EURO I	$89.174 \cdot V^{(-0.5185)}$
Buses Licitados EURO I	$62.422 \cdot V^{(-0.5185)}$
Buses Licitados EURO II	$44.587 \cdot V^{(-0.5185)}$
Buses Licitados EURO III	$31.211 \cdot V^{(-0.5185)}$

Fuente: DIM, 2000, Análisis de Evaluaciones y Reevaluaciones ExPost, VI Etapa
COPERT III, Methodology and emission factors (Version 2.1, Noviembre 2000)

El material particulado directo sólo es producido por los vehículos que utilizan combustible Diesel, tal como se puede ver en la siguiente tabla. Otra fuente de material particulado por parte de las fuentes móviles es el polvo resuspendido.

Tabla N° IV.5 Factores de emisión de Material Particulado (PM10) directo en fuentes móviles.

CATEGORÍA	Factores de Emisión
Automóviles con convertidor catalítico.	-
Automóviles sin convertidor catalítico.	-
Taxicolectivos con convertidor catalítico	-
Taxicolectivos sin convertidor catalítico.	-
Taxis con convertidor catalítico.	-
Taxis sin convertidor catalítico.	-
Veh. Com. Con convertidor catalítico	-
Veh. Com. Sin convertidor catalítico	-
Veh. Com. Livianos diesel.	$0,0000125 \cdot V^2 - 0,000577 \cdot V + 0,2880$
Camiones de dos ejes.	$9,6037 \cdot V^{-0,7259}$
Camiones de mas de dos ejes.	$10,890 \cdot V^{-0,7105}$
Buses Licitados Pre EURO I	$12,092 \cdot V^{(-0.7360)}$
Buses Licitados EURO I	$5,110 \cdot V^{(-0.7360)}$
Buses Licitados EURO II	$3,144 \cdot V^{(-0.7360)}$
Buses Licitados EURO III	$2,201 \cdot V^{(-0.7360)}$

Fuente: DIM, 2000, Análisis de Evaluaciones y Reevaluaciones ExPost, VI Etapa
COPERT III, Methodology and emission factors (Version 2.1, Noviembre 2000)

Tabla N° IV.6 Factores de emisión de Metano (CH₄) directo en fuentes móviles.

CATEGORÍA	Factores de Emisión
Automóviles con convertidor catalítico.	$1,1176 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0,00196 \cdot V + 0,099652$
Automóviles sin convertidor catalítico.	$3,31 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0,00573 \cdot V + 0,268$
Taxicolectivos con convertidor catalítico	$1,1176 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0,00196 \cdot V + 0,099652$
Taxicolectivos sin convertidor catalítico.	$3,31 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0,00573 \cdot V + 0,268$
Taxis con convertidor catalítico.	$1,1176 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0,00196 \cdot V + 0,099652$
Taxis sin convertidor catalítico.	$3,31 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0,00573 \cdot V + 0,268$
Veh. Com. Con convertidor catalítico	$1,2969 \cdot 10^{-6} \cdot V^2 - 0,0021098 \cdot V + 0,101995$
Veh. Com. sin convertidor catalítico	0,15
Veh. Com. Livianos diesel.	0,005
Camiones de dos ejes.	0,085
Camiones de mas de dos ejes.	0,175
Buses licitados.	0.175

Fuente: DIM, 2000, Análisis de Evaluaciones y Reevaluaciones ExPost, VI Etapa

Llama la atención que la emisión de Óxido de Nitrógeno es mayor en los vehículos con convertidor catalítico que en el resto de los tipos de vehículos.

Tabla Nº IV.7 Factores de emisión de Óxido de Nitrógeno (N₂O) directo en fuentes móviles.

CATEGORÍA	Factores de Emisión
Automóviles con convertidor catalítico.	0,053
Automóviles sin convertidor catalítico.	0,005
Taxicolectivos con convertidor catalítico	0,053
Taxicolectivos sin convertidor catalítico.	0,005
Taxis con convertidor catalítico.	0,053
Taxis sin convertidor catalítico.	0,005
Veh. Com. Con convertidor catalítico	0,053
Veh. Com. Sin convertidor catalítico	0,006
Veh. Com. Livianos diesel.	0,017
Camiones de dos ejes.	0,03
Camiones de más de dos ejes.	0,03
Buses licitados.	0,03

Fuente: COPERT III, Methodology and emission factors (Version 2.1, Noviembre 2000).

Tabla Nº IV.8 Factores de emisión de Amoniaco (NH₃) directo en fuentes móviles.

CATEGORÍA	Factores de Emisión
Automóviles con convertidor catalítico.	0,070
Automóviles sin convertidor catalítico.	0,002
Taxicolectivos con convertidor catalítico	0,070
Taxicolectivos sin convertidor catalítico.	0,002
Taxis con convertidor catalítico.	0,070
Taxis sin convertidor catalítico.	0,002
Veh. Com. Con convertidor catalítico	0,070
Veh. Com. Sin convertidor catalítico	0,002
Veh. Com. Livianos diesel.	0,001
Camiones de dos ejes.	0,003
Camiones de más de dos ejes.	0,003
Buses licitados.	0,003

Fuente: COPERT III, Methodology and emission factors (Version 2.1, Noviembre 2000).

Tabla N° IV.9 Factores de emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles directos (COV) en fuentes móviles.

CATEGORÍA	Factores de Emisión
Automóviles con convertidor catalítico.	$1,1851 \cdot V^{-0,616}$
Automóviles sin convertidor catalítico.	$11,589 \cdot V^{-0,5595}$
Taxicolectivos con convertidor catalítico	$1,1851 \cdot V^{-0,616}$
Taxicolectivos sin convertidor catalítico.	$11,589 \cdot V^{-0,5595}$
Taxis con convertidor catalítico.	$1,1851 \cdot V^{-0,616}$
Taxis sin convertidor catalítico.	$11,589 \cdot V^{-0,5595}$
Veh. Com. Con convertidor catalítico	$0,00007 \cdot V^2 - 0,0067 \cdot V + 0,2406$
Veh. Com. Sin convertidor catalítico	$0,000677 \cdot V^2 - 0,1170 \cdot V + 5,4734$
Veh. Com. Livianos diesel.	$0,000066 \cdot V^2 - 0,0113 \cdot V + 0,6024$
Camiones de dos ejes.	$40,120 \cdot V^{-0,8774}$
Camiones de más de dos ejes.	$40,120 \cdot V^{-0,8774}$
Buses Licitados Pre EURO I	$43.647 \cdot V^{(-1.0301)}$
Buses Licitados EURO I	$32.735 \cdot V^{(-1.0301)}$
Buses Licitados EURO II	$30.553 \cdot V^{(-1.0301)}$
Buses Licitados EURO III	$21.387 \cdot V^{(-1.0301)}$

Fuente: DIM, 2000, Análisis de Evaluaciones y Reevaluaciones ExPost, VI Etapa

Tabla N° IV.10 Factores de emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) por pérdidas por emisiones evaporativas durante el recorrido en fuentes móviles.

CATEGORÍA	Factores de Emisión
Automóviles con convertidor catalítico.	$0,0136 \cdot e^{(-5,967+0,04259 \cdot rvp+0,1773 \cdot t^{\circ}_a)}$
Automóviles sin convertidor catalítico.	$0,136 \cdot e^{(-5,967+0,04259 \cdot rvp+0,1773 \cdot t^{\circ}_a)}$
Taxicolectivos con convertidor catalítico	$0,0136 \cdot e^{(-5,967+0,04259 \cdot rvp+0,1773 \cdot t^{\circ}_a)}$
Taxicolectivos sin convertidor catalítico.	$0,136 \cdot e^{(-5,967+0,04259 \cdot rvp+0,1773 \cdot t^{\circ}_a)}$
Taxis con convertidor catalítico.	$0,0136 \cdot e^{(-5,967+0,04259 \cdot rvp+0,1773 \cdot t^{\circ}_a)}$
Taxis sin convertidor catalítico.	$0,136 \cdot e^{(-5,967+0,04259 \cdot rvp+0,1773 \cdot t^{\circ}_a)}$
Veh. Com. Con convertidor catalítico	$0,0136 \cdot e^{(-5,967+0,04259 \cdot rvp+0,1773 \cdot t^{\circ}_a)}$
Veh. Com. Sin convertidor catalítico	$0,136 \cdot e^{(-5,967+0,04259 \cdot rvp+0,1773 \cdot t^{\circ}_a)}$
Veh. Com. Livianos diesel.	0
Camiones de dos ejes.	0
Camiones de más de dos ejes.	0
Buses licitados.	0

Fuente: DIM, 2000, Análisis de Evaluaciones y Reevaluaciones ExPost, VI Etapa

En que RVP es la presión de vapor del combustible y t°_a es la temperatura ambiental media.

Existen emisiones como las de CO₂ y el SO₂ que pueden ser calculadas a partir del consumo de combustible de los vehículos y de las características del combustible.

Las emisiones de dióxido de carbono se pueden estimar partiendo de la base que todo el carbono contenido en el combustible se transforma en CO₂, tal como muestra la siguiente fórmula⁸:

$$E_{CO_2,j} = 44,011 \cdot \frac{CC_j}{12,011 + 1,008 \cdot r_{H.C,j}}$$

En que:

$E_{CO_2,j}$: Emisiones de CO₂ de vehículos de la categoría j [gr./km.].

CC_j : Consumo de combustible de vehículos de la categoría j.

$r_{H.C,j}$: Proporción de hidrógeno vs carbono en el combustible (1,8 para gasolina y 2,0 para Diesel)

Sin embargo, existen otros contaminantes que también tienen entre sus componentes el carbono. Por lo tanto las emisiones reales de CO₂ deben depender también de las restantes emisiones que tienen el carbono entre sus componentes como el CO, COV y material particulado.

$$E_{CO_2,j} = 44,011 \cdot \frac{CC_j}{12,011 + 1,008 \cdot r_{H.C,j}} - \frac{E_{CO,j}}{28,011} - \frac{E_{COV,j}}{13,85} - \frac{E_{MP,j}}{12,011}$$

donde $E_{CO,j}$, $E_{COV,j}$ y $E_{MP,j}$ son las emisiones de CO, COV y MP de los vehículos de la categoría j. Respectivamente.

Un segundo ejemplo de emisiones que depende del consumo del combustible es del Dióxido de azufre (SO₂), estas emisiones se calculan suponiendo que todo el azufre contenido en el combustible se transforma en SO₂, esto queda reflejado en la siguiente fórmula:

$$E_{SO_2,j} = 2 \cdot k_{s,j} \cdot CC_j$$

Donde $k_{s,j}$ es la proporción en peso de contenido de azufre en el combustible.

En Santiago se han impuesto normas cada vez más estrictas de contenido máximo de azufre en los combustibles lo que ha permitido reducir las emisiones de dióxido de azufre en forma importante.

⁸ Fuente: Leonidas Ntziachristos y Zissis Samaras: "COPERT III: Computer programme to calculate emissions from road transport, Methodology and emission factors (Version 2.1)". Noviembre 2002

En abril del año 2001, ENAP comenzó a distribuir en la Región Metropolitana el Diesel Ciudad, combustible que tiene un contenido de azufre 0,03%.

Para calcular las emisiones mencionadas con anterioridad es necesario realizar un cálculo del consumo de combustible, para esto se pueden utilizar los siguientes factores de consumo de combustible adaptados a la realidad nacional.

Tabla N° IV.11 Factores de consumo de combustibles.

Categoría	Factores de Consumo (gr/km)
Automóviles con convertidor catalítico.	$418,37 \cdot V^{-0,5486}$
Automóviles sin convertidor catalítico.	$451,33 \cdot V^{-0,534}$
Taxicolectivos con convertidor catalítico	$418,37 \cdot V^{-0,5486}$
Taxicolectivos sin convertidor catalítico.	$451,33 \cdot V^{-0,534}$
Taxis con convertidor catalítico.	$418,37 \cdot V^{-0,5486}$
Taxis sin convertidor catalítico.	$451,33 \cdot V^{-0,534}$
Veh. Com. Con convertidor catalítico	$0,0187 \cdot V^2 - 2,6974 \cdot V + 156,77$
Veh. Com. Sin convertidor catalítico	$0,0187 \cdot V^2 - 2,6974 \cdot V + 156,77$
Veh. Com. Livianos diesel.	$0,0233 \cdot V^2 - 2,5646 \cdot V + 136,22$
Camiones de dos ejes.	$1068,4 \cdot V^{(-0,4905)}$ (0-60 km/h) $0,0126 \cdot V^2 - 0,6589 \cdot V + 141,2$ (> 60 km/h)
Camiones de más de dos ejes.	$1595,1 \cdot V^{(-0,4744)}$ (0-60 km/h) $0,0382 \cdot V^2 - 5,163 \cdot V + 399,3$ (> 60 km/h)
Buses licitados.	$1371,6 \cdot V^{(-0,4318)}$

Fuente: DIM, 2000, Análisis de Evaluaciones y Reevaluaciones ExPost, VI Etapa

IV.3.2 EMISIONES POR PARTIDA EN FRÍO

Las emisiones en frío corresponden a las emisiones extras generadas mientras el motor y el convertidor catalítico no alcanzan su temperatura normal de funcionamiento.

Este tipo de emisiones es una parte importante de un modelo de emisiones por dos razones. En una ciudad los viajes son relativamente cortos y por lo tanto una gran parte de los viajes son realizados con el motor y el catalizador con una temperatura menor a la ideal. Adicionalmente se ha probado que las emisiones en frío son entre 1 a 16 veces las emisiones en caliente dependiendo de la tecnología y tipo de vehículo.

A continuación se presenta la metodología propuesta por la European Environment Agency y utilizada en el modelo COPERT 3 al igual que en el programa MODEM para el cálculo de las emisiones por partidas en frío para fuentes móviles.

IV.3.2.1 METODOLOGÍA DE CALCULO DE PARTIDAS EN FRÍO EN EL MODELO MODEM

Las emisiones son calculadas como una emisión extra por sobre las emisiones en caliente de cada categoría de vehículo. Se aplica un factor que contiene la proporción de emisiones en frío por sobre las emisiones en caliente, este factor se aplica a la proporción de kilómetros recorridos durante el viaje que fue realizado con el motor frío.

$$E_{Frio,i,j} = \beta_j \cdot N_j \cdot M_j \cdot e_{caliente,i,j} \cdot (e_{frio/caliente,i,j} - 1)$$

Donde,

- $E_{Frio,i,j}$: Emisiones por partida en frío por el contaminante i, categoría vehicular j.
 β_j : Fracción del recorrido realizado con el motor frío por la categoría j.
 N_j : Numero de vehículos de la categoría j.
 M_j : Distancia recorrida por los vehículos de la categoría j.
 $e_{caliente,i,j}$: Emisiones en caliente por kilometro del contaminante i, categoría vehicular j.
 $e_{frio/caliente,i,j}$: Razón de emisiones en frío por sobre las emisiones en caliente

La variable β_j se calcula mediante la siguiente formula que depende de la distancia media recorrida L_j por los vehículos de la categoría j y la temperatura ambiental T° .

$$\beta_j = 0,6474 - 0,02545 \cdot L_j - (0,00974 - 0,000385 \cdot L_j) \cdot T^\circ$$

La siguiente tabla presenta los valores de las razones de emisiones para distintos contaminantes y categorías de vehículos.

Tabla N° IV.12: Razón de emisiones frío/caliente.

Contaminante	Vehículos sin convertidor catalítico	Vehículos con convertidor catalítico	Vehículos de pasajeros Diesel
CO	3,7 - 0,09·T°	9,04 - 0,09·T°	1,9 - 0,03·T°
Nox	1,14 - 0,006·T°	3,66 - 0,006·T°	1,3 - 0,013·T°
VOC	2,8 - 0,06·T°	12,59 - 0,06·T°	3,1 - 0,09·T°
CC(Consumo Combustible)	1,47 - 0,009·T°		
MP			3,1 - 0,1·T°

IV.3.2.2 METODOLOGÍA DE LAS EMISIONES POR PARTIDAS EN FRÍO EN EL MEEV.

La metodología usada en el modelo COPERT solo permite estimar las emisiones totales por partida en frío pero no permite asociar estas emisiones a la red de tránsito existente, MODEM asocia estas emisiones al centroide del que parte el vehículo, esta simplificación puede traer problemas al realizar estimaciones por grilla y su posterior cálculo de concentraciones de contaminantes.

Además la metodología mostrada con anterioridad para el cálculo de las emisiones por partida en frío se basaba en una pequeña cantidad de mediciones, por esto se creó una nueva metodología basada en los estudios de varios centros de investigación europeo.



Se utilizara la metodología propuesta en el informe “Modelling Of Cold Start Emissions For Passenger Cars”⁹ desarrollado como parte del programa MEET (Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport) de la comunidad europea¹⁰.

Esta metodología asume que las emisiones extra por partida en frío se van reduciendo a medida que se calienta el motor y el convertidor catalítico del automóvil hasta llegar a un momento en que el vehículo llega a una condición de operación normal.

Las emisiones por partida en frío acumuladas cuando se ha recorrido una distancia d desde el inicio vienen dadas por una función de tipo exponencial que multiplica las emisiones totales por partida en frío que emitiría el vehículo.

$$E_{Frio,i,j}(d) = E_{Frio,i,j} \cdot \left[\frac{1 - e^{-\frac{a \cdot d}{d_c}}}{1 - e^{-a}} \right]; \quad d < d_c$$

donde:

$E_{Frio,i,j}(d)$: Emisiones por partida en frío acumuladas.

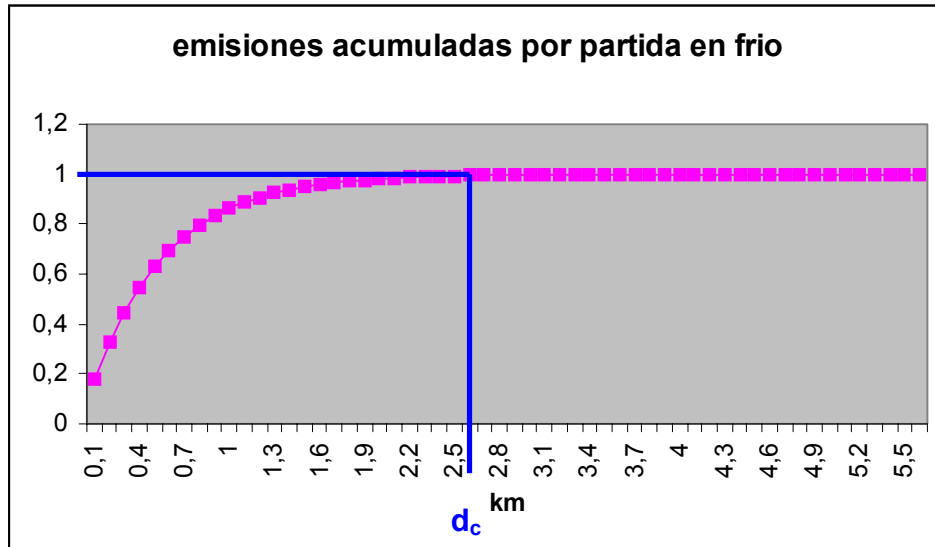
$E_{Frio,i,j}$: Emisiones totales por partida en frío.

En el siguiente gráfico se pueden ver las emisiones acumuladas por partidas en frío, existe una distancia (d_c) a partir de la cual no se sigue emitiendo por partidas en frío.

⁹ Joumard Robert, Sérié Eric (Laboratoire Transports et Environnement, INRETS) ; Modelling of cold start emissions for passenger cars, diciembre de 1999

¹⁰ Esta metodología también se presenta en el informe final del programa COST319: Methods of estimation of atmospheric emissions from transport: European scientist network and scientific state-of-the-art, Action cost 319 final report, marzo de 1999.

Figura N° IV.2



En la Tabla N° IV.13 se puede apreciar las formulas usadas para estimar la distancia requerida para llegar al estado estacionario, mientras mayor es la velocidad mayor es la distancia requerida para lograr la temperatura normal de funcionamiento (aunque generalmente el tiempo es menor).

Tabla N° IV.13: Distancia de partida en frío en función de la velocidad y valor de constante a.

	Automóviles sin convertidor	Automóviles con convertidor
CO ₂	$d_c = 0,15 \cdot V + 2,68$; a=2,85	$d_c = 0,29 \cdot V - 0,05$; a=3,01
CO	$d_c = 0,04 \cdot V + 5,42$; a=6,70	$d_c = 0,24 \cdot V - 0,14$; a=10,11
HC	$d_c = 0,09 \cdot V + 1,94$; a=10,96	$d_c = 0,06 \cdot V + 2,19$; a=7,02
NO _x	$d_c = 0,02 \cdot V + 2,83$; a=2,54	$d_c = 0,19 \cdot V + 3,40$; a=2,30
Consumo Combustible	$d_c = 0,28 \cdot V + 0,47$; a=7,97	$d_c = 0,24 \cdot V + 0,54$; a=7,55

Fuente: Modelling of cold start emissions for passenger cars.

Por lo tanto las emisiones en frío emitidas en un tramo d_0, d_1 con d_0 y $d_1 < d_c$ se pueden obtener de la resta de las emisiones acumuladas en cada una de estas distancias, tal como se muestra en las siguientes ecuaciones.

$$E_{Frio,i,j}(d_0, d_1) = E_{Frio,i,j} \left\{ \left[\frac{1 - e^{-\frac{a \cdot d_1}{d_c}}}{1 - e^{-a}} \right] - \left[\frac{1 - e^{-\frac{a \cdot d_0}{d_c}}}{1 - e^{-a}} \right] \right\}$$

o

$$E_{Frio,i,j}(d_0, d_1) = E_{Frio,i,j} \left[\frac{e^{\frac{-a \cdot d_0}{d_c}} - e^{\frac{-a \cdot d_1}{d_c}}}{1 - e^{-a}} \right]$$

Las emisiones extras por partida en frío dependen de dos variables fundamentales, la temperatura ambiental y la velocidad promedio de los vehículos. La temperatura afecta las emisiones pues mientras menor sea la temperatura se requerirá más tiempo para que el motor alcance la temperatura normal de funcionamiento. Pueden ser calculadas mediante la siguiente fórmula que incorpora la velocidad promedio y la temperatura ambiental en el cálculo de las emisiones de contaminante.

$$E_{Frio,i,j} = E_{Base,i,j} \cdot [f_{i,j}(v) + g_{i,j}(t^\circ) - 1]$$

donde:

- $E_{Frio,i,j}$: Emisiones extra por partida en frío para contaminante i, categoría j.
- $E_{Base,i,j}$: Emisiones extra por partida en frío de referencia (a 20°C y 20 km/h).
- $f_{i,j}(v)$: Coeficiente de corrección por la velocidad media.
- $g_{i,j}(t^\circ)$: Coeficiente de corrección por la temperatura ambiental.

En las siguientes tablas se muestran los valores que se debe usar en las funciones de corrección por temperatura y velocidad media.

Tabla N° IV.14: Coeficientes de corrección $f_{i,j}(v)$ por velocidad media

	Automóviles sin convertidor	Automóviles con convertidor
CO ₂	-0,0101·V + 1,2024	0,0034·V + 0,9321
CO	0,0288·V + 0,4245	-0,0013·V + 1,0261
HC	0,0142·V + 0,7154	-0,0053·V + 1,1060
NO _x	0,1136·V - 1,2727	0,0636·V - 0,2712
Consumo Combustible	0,0064·V + 0,8716	0,0015·V + 0,9707

Fuente: Modelling of cold start emissions for passenger cars.

Tabla N° IV.15: Coeficientes de corrección $g_{i,j}(t^\circ)$ por temperatura ambiental.

	Automóviles sin convertidor	Automóviles con convertidor
CO ₂	1	1
CO	-0,0918·T + 2,8360	-0,2591·T + 6,1829
HC	-0,1344·T + 3,6888	-0,1317·T + 3,6331
NO _x	1	1
Consumo Combustible	-0,0431·T + 1,8618	-0,0555·T + 2,1092

Fuente: Modelling of cold start emissions for passenger cars.

Los distintos contaminantes se ven afectados de distinta forma por la velocidad y la temperatura, siendo en algunos casos más sensibles a estas variaciones que en otros.

Tabla N° IV.16: Emisiones extra por partida en frío $E_{Base,i,j}$ a 20°C y 20 km/h

	Contaminante	Emisión extra (gramos)
Automóviles sin convertidor catalítico	CO2	144,16
	CO	63,51
	HC	8,23
	NOx	-0,30
	FC	83,71
Vehículos diesel con convertidor catalítico	CO2	182,57
	CO	2,18
	HC	0,82
	NOx	0,06
	FC	62,95
Automóviles sin convertidor catalítico	CO2	132,46
	CO	28,71
	HC	4,62
	NOx	1,77
	FC	59,79
Vehículos diesel con convertidor catalítico	CO2	153,36
	CO	0,74
	HC	0,65
	NOx	0,03
	FC	55,4

Fuente: Modelling of cold start emissions for passenger cars.

IV.3.2.3 IMPLEMENTACIÓN DE PARTIDAS EN FRÍO EN MEEV.

Para implementar las partidas en frío se utilizara el comando CUTOFF de EMME/2 el cual permite obtener valores restringidos solo a una parte de los flujos generado por una asignación. Esto es muy útil para el calculo de las emisiones por partida en frío pues con el operador CUTOFF es posible obtener el flujo de los vehículos durante los primeros kilómetros o minutos de recorrido.

Dado que se puede calcular el numero de vehículos en cada arco que están en el intervalo k_i, k_{i+1} de su viaje se puede estimar las emisiones por partida en frío en cada arco de la siguiente forma:

$$E_{Frio,a,i,j} = L_a \cdot E_{Base,i,j} \cdot \sum_k \left[\frac{F_{a,j,k,k+1} \cdot \left[\frac{e^{-\frac{a \cdot d_{k+1}}{d_c}} - e^{-\frac{a \cdot d_k}{d_c}}}{1 - e^{-a}} \right]}{(d_{k+1} - d_k)} \right] \quad d_{k+1} < d_c$$

donde:



$E_{Frio,a,i,j}$:Emisiones por partida en frío en el arco a del contaminante i de la categoría vehicular j.
L_a	:Largo del arco a.
$E_{Base,i,j}$:Emisiones extra por partida en frío de referencia (a 20°C y 20 km/h) del contaminante i, de la categoría vehicular j.
$F_{a,j,k,k+1}$:Flujo en el arco a de vehículos de la categoría j que están en el intervalo d_k, d_{k+1} de su recorrido.
d_k	:Distancia desde el punto de partida.

IV.3.3 DESAGREGACIÓN VEHICULAR.

Un paso muy importante en el cálculo de las emisiones de las fuentes móviles es determinar las características del parque vehicular existente en la ciudad. O sea determinar cual es el porcentaje de vehículos que tienen convertidor catalítico, cual es la proporción de vehículos comerciales, etc. En cada zona de la ciudad.

Se utilizara el mismo criterio que el usado en la implementación del modelo de emisiones MODEM. Se divide la ciudad en 9 zonas características y en cada una de estas zonas se aplica una proporción del parque automovilístico a partir de mediciones observadas.

En la siguiente figura se muestra el gran Santiago dividido en 9 zonas.

Figura Nº IV.3 : Zonificación de Santiago

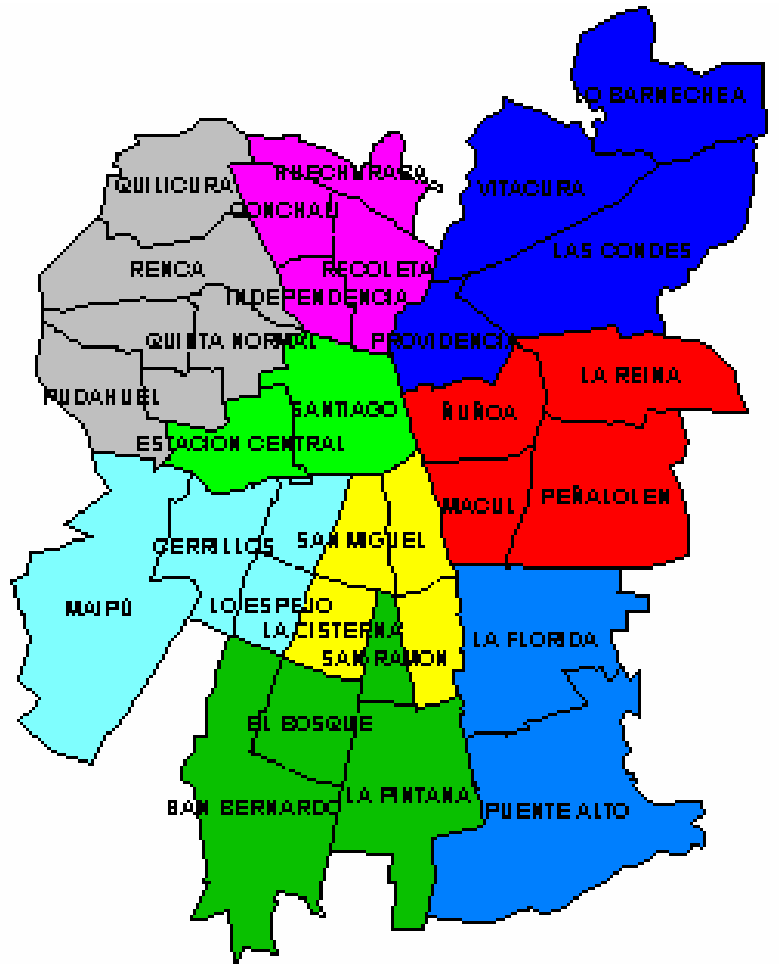


Tabla Nº IV.17: Zonificación aplicada para la Desagregación vehicular

Zona	Comunas
Zona 1	Providencia, Vitacura, Las Condes y Lo Barnechea
Zona 2	Ñuñoa, La Reina, Macul y Peñalolen
Zona 3	Santiago, Estación Central
Zona 4	Huechuraba, Recoleta, Independencia y Conchalí
Zona 5	Renca, Quinta Normal, Cerro Navia, Lo Prado, Pudahuel y Quilicura
Zona 6	Maipú, Cerrillos, Lo Espejo y Pedro Aguirre Cerda
Zona 7	San Miguel, San Joaquín, La Cisterna y La Granja
Zona 8	San Ramón, La Pintana, El Bosque, San Bernardo
Zona 9	La Florida, Puente Alto.

Fuente: MODEM.

El modelo de Santiago maneja internamente varias categorías de vehículos, por esto se ha decidido desagregar cada una de estas categorías por separado.

Las mismas categorías de vehículos incluyen distintas clases de tecnologías lo que implica distintas emisiones. Un ejemplo de esto son los automóviles que a grandes rasgos pueden dividirse en vehículos con convertidor catalítico y vehículos sin convertidor catalítico.

Para la desagregación de estas categorías se utilizarán los mismos factores utilizados en el modelo Modem II para el año 2000. Estas desagregaciones fueron obtenidas a partir de mediciones de composición de flujo vehicular en todo Santiago lo que permitió entregar factores de desagregación para cada una de las zonas en que se ha dividido Santiago. En la siguiente tabla se muestran los tipos que presenta cada categoría y su desagregación.

Tabla N° IV.18: Desagregación Vehicular, Año 2000.

Vehículos particulares	Zona1	Zona2	Zona3	Zona4	Zona5	Zona6	Zona7	Zona8	Zona9
Automóviles Catalíticos	70,4	64,9	60,0	55,5	59,9	48,3	53,4	42,6	52,1
Automóviles No Catalíticos	8,8	12,8	16,4	20,3	14,5	19,6	19,1	25,5	17,4
Comerciales Catalíticos	15,8	15,0	16,4	13,7	16,5	19,5	17,3	16,3	21,0
Comerciales No Catalíticos	2,0	4,0	3,7	6,8	5,4	7,9	6,1	10,9	4,9
Comerciales Diesel	3,1	3,3	3,6	3,6	3,9	4,8	4,1	4,8	4,6
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Taxis Catalíticos	91,5	91,1	91,4	92,0	87,7	89,2	91,7	86,0	92,5
Taxis No Catalíticos	8,5	8,9	8,6	8,0	12,3	10,8	8,3	14,0	7,5
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pre Euro I (Pre EPA 91)	33,1	33,1	33,1	33,1	33,1	33,1	33,1	33,1	33,1
Euro I (EPA 91)	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9
Euro II (EPA 94)	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0
Euro III (EPA 98)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Colectivos Catalíticos	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
Colectivos No Catalíticos	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron los siguientes supuestos para la estimación de la desagregación para los años 2007 y 2012.

- Se mantendrá la misma proporción de automóviles y vehículos comerciales en cada zona.
- La proporción de vehículos comerciales Diesel se mantendrá dentro de la categoría de vehículos comerciales.
- Cada año se elimina el 2% del parque vehicular, se considera que se retiran los vehículos sin convertidor catalítico siendo reemplazados por vehículos catalíticos.
- El mismo criterio anterior se aplicará a los vehículos comerciales, Taxis y Colectivos.
- Los buses que circulan por Santiago pueden tener una edad máxima de 12 años, por lo tanto anualmente se renueva el 8,3% del parque de buses de la ciudad.
- A partir de septiembre del 2002 todos los nuevos buses que ingresen a Santiago deben cumplir con la norma de emisiones Euro III¹¹.

¹¹ Decreto Supremo N°130 del año 2001, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

Usando los criterios mencionados se puede obtener los nuevos factores de desagregación por zona para los años 2007 y 2012 que se presentan a continuación.

Tabla N° IV.19: Estimación desagregación por zonas, año 2007

Categorías	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vehículos Particulares Catalíticos	78,3	72,7	67,6	63,1	67,3	55,0	60,6	49,4	59,0
Vehículos Particulares No Catalíticos	0,8	5,0	8,7	12,7	7,0	12,8	11,8	18,7	10,5
Vehículos Comerciales Catalíticos	17,4	16,8	18,4	15,6	18,5	22,1	19,5	18,7	23,5
Vehículos Comerciales No Catalíticos	0,0	1,8	1,3	4,4	2,8	4,7	3,4	7,7	1,9
Vehículos Comerciales Diesel	3,4	3,8	4,0	4,1	4,3	5,5	4,7	5,5	5,1
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vehículos de Alquiler Catalíticos	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,2	100,0	96,0	100,0
Vehículos de Alquiler No Catalíticos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	4,0	0,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pre Euro I (Pre EPA 91)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Euro I (EPA 91)	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4
Euro II (EPA 94)	59,9	59,9	59,9	59,9	59,9	59,9	59,9	59,9	59,9
Euro III (EPA 98)	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Taxis Colectivos Catalíticos	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
Taxis Colectivos No Catalíticos	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° IV.20: Estimación desagregación por zonas, año 2012

Categorías	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vehículos Particulares Catalíticos	79,2	77,7	76,3	72,2	74,3	63,2	69,3	57,5	67,3
Vehículos Particulares No Catalíticos	0,0	0,0	0,0	3,6	0,0	4,6	3,1	10,6	2,2
Vehículos Comerciales Catalíticos	17,4	18,3	19,5	17,5	20,6	24,6	21,7	21,2	25,1
Vehículos Comerciales No Catalíticos	0,0	0,0	0,0	2,0	0,2	1,4	0,6	4,5	0,0
Vehículos Comerciales Diesel	3,4	4,1	4,2	4,6	4,8	6,1	5,2	6,2	5,5
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vehículos de Alquiler Catalíticos	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vehículos de Alquiler No Catalíticos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pre Euro I (Pre EPA 91)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Euro I (EPA 91)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Euro II (EPA 94)	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
Euro III (EPA 98)	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Taxis Colectivos Catalíticos	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Taxis Colectivos No Catalíticos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

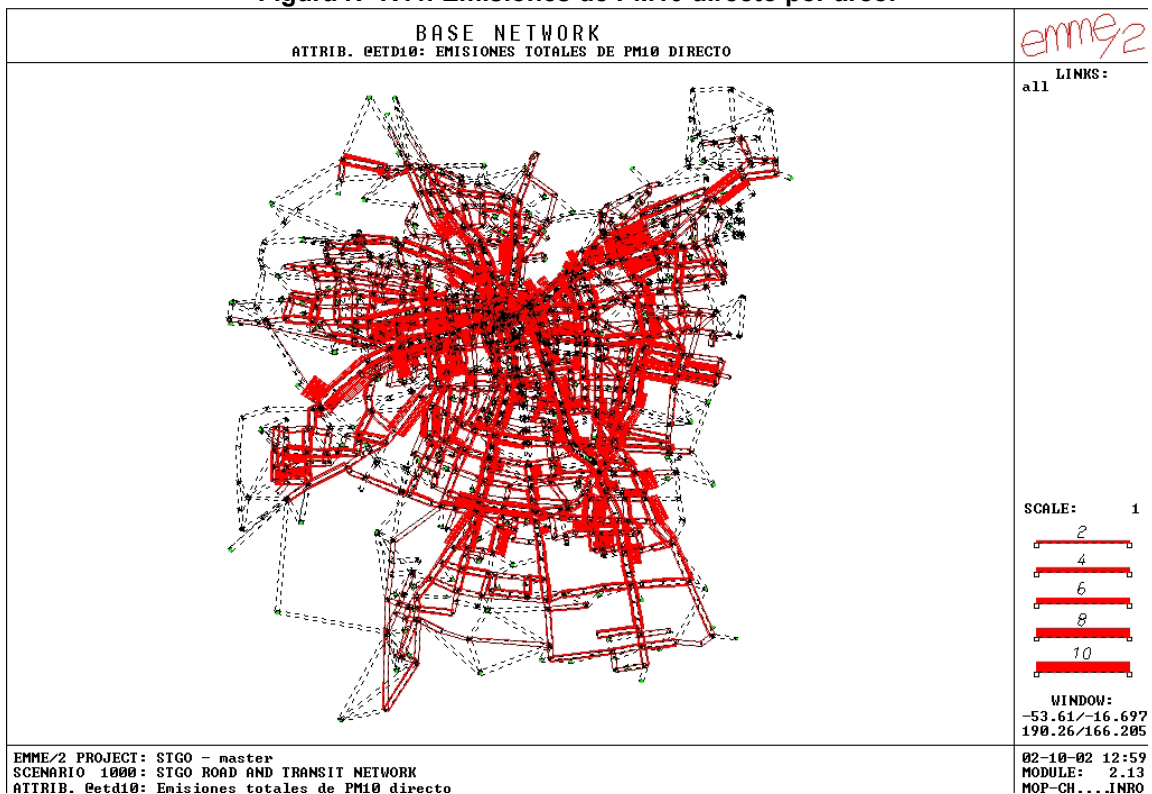
Fuente: Elaboración Propia.

IV.3.4 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE EMISIONES

Dada la gran cantidad de información generada por los modelos de transporte y emisión, las herramientas gráficas de visualización permiten un mejor análisis. Por esto se ha incorporado al modelo de emisiones la posibilidad de crear y visualizar grillas de emisiones. Estas grillas de emisiones también son importantes en la evaluación económica de medidas que afectan las emisiones pues estas permiten obtener las emisiones por cuadrantes que son el primer paso en la obtención de la concentración de contaminantes.

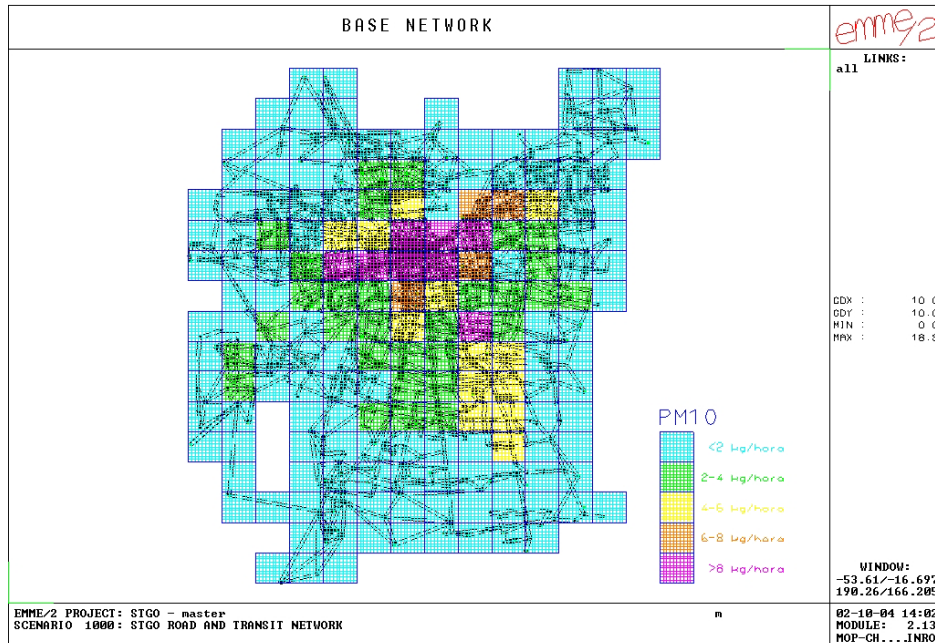
EMME/2 permite obtener en forma nativa gráficos que representan las emisiones por arco. En la figura N° IV.4 se muestra como ejemplo las emisiones directas de material particulado por arco.

Figura N° IV.4: Emisiones de PM10 directo por arco.



Otra forma de representar esta información es mediante una grilla en que mediante colores se identifica la cantidad de emisiones que se emiten en cada cuadrante. En la Figura N° IV.5 se muestra un ejemplo en que se ha sobrepuesto una grilla que representa las emisiones de material particulado directo a la red de Santiago. Se puede apreciar en esta figura que es más sencillo determinar los lugares en que se concentran las emisiones de contaminantes.

Figura N° IV.5: Emisiones por Cuadrante



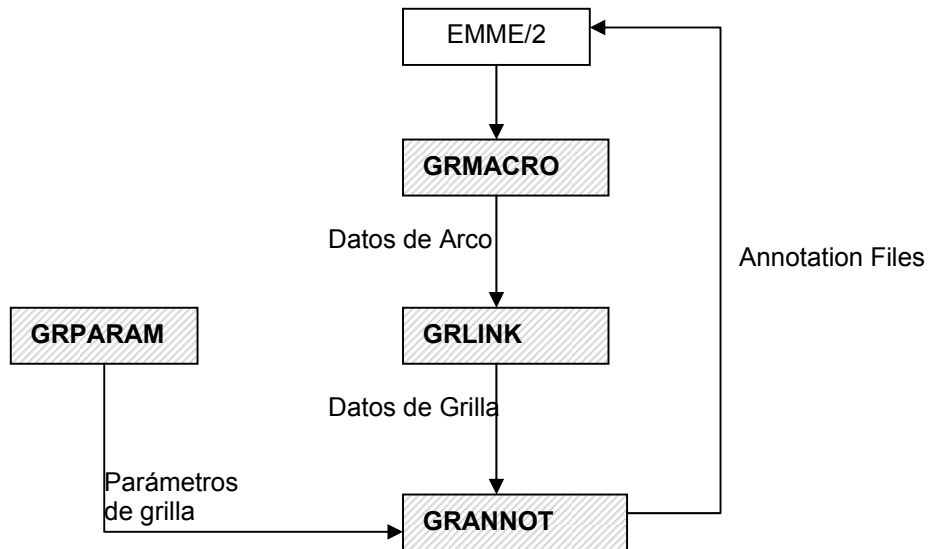
A continuación se presenta la forma en que funciona la macro que permite dibujar las grillas sobre EMME/2, la que está basada en GRTOOL que es una serie de macros de EMME/2 y programas desarrollados en AWK por Lukas y Heinz Spiess¹².

¹² Para más información de la macro original, su funcionamiento y los códigos fuente de los programas ejecutables que se utilizan en la creación de las grillas ver el siguiente sitio web: <http://www.spiess.ch/emme2/grtool/grtool.html>



IV.3.4.1 ADAPTACIÓN DE GRTOOL A MACRO DE EMISIONES.

GRTOOL es una herramienta que permite convertir cualquier dato contenido en un arco de una red en una grilla de cualquier dimensión. GRTOOL está formada por 4 módulos tal como se presenta en el siguiente esquema.



A continuación se muestra el funcionamiento de GRTOOL y la forma en que fue implementado en el modelo de estimación de emisiones en el modelo Santiago.

1. **GRMACRO:** Es una macro de EMME/2 que toma como parámetro una serie de atributos de arco que serán posteriormente convertidos a grilla. Mediante el módulo 2.41 se genera un archivo que contiene las coordenadas de inicio y fin de cada arco, el ancho del arco y los valores de las variables que se desea graficar. A continuación se muestra un ejemplo del encabezado y de algunos datos del archivo de salida de esta macro. Una vez que las emisiones se han calculado y guardado en los atributos extra correspondientes se corre la macro de la siguiente forma:

```
~<grmacro .001 @etd10
```

Obteniéndose con esto un archivo con el siguiente esquema:

inode	jnode	xi	yi	xj	yj	tmp19	@etd10	result
1	35874	65.3	108.5	65.5	103.8	.001	0	0
1	35876	65.3	108.5	65.2	103.5	.001	0	0
1	35892	65.3	108.5	64.3	108.7	.001	0	0
1	35992	65.3	108.5	66.3	108.6	.001	0	0
1	36802	65.3	108.5	64	110	.001	0	0
2	35692	63.0074	106.637	60.8	109.4	.001	0	0
2	35781	63.0074	106.637	62.0741	104.844	.001	0	0
2	35876	63.0074	106.637	65.2	103.5	.001	0	0
2	36802	63.0074	106.637	64	110	.001	0	0
3	35583	59.7	108.5	57	107.2	.001	0	0
3	35692	59.7	108.5	60.8	109.4	.001	0	0
3	36611	59.7	108.5	60.2	112.7	.001	0	0



Al MEEV se le incorporó una serie de instrucciones que le permiten crear el mismo archivo mostrado arriba. Este archivo es nombrado *ext_1000.tmp*. Por lo tanto no es necesario correr la macro *grmacro* para obtener las emisiones por grilla.

2. **GRLINK:** es un programa .bat que llama al programa *grlinka.exe* el cual transforma los datos de arco obtenidos mediante *grmacro* en datos de grilla. El formato en que entrega la información es mediante una lista en que cada celda de la grilla está representada por las coordenadas del extremo inferior izquierdo de ella y el valor de la celda. *Grlink* se invoca con tres parámetros: el archivo con la información de los arcos *ext_1000.tmp*, el ancho de las celdas de la grilla y el archivo de salida.

```
grlink ext_1000.tmp 10 gri_1000.tmp
```

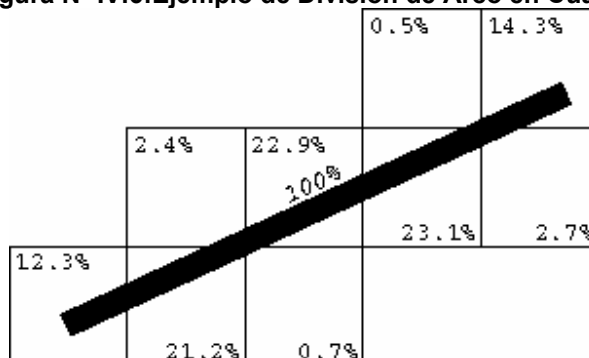
Al correr este programa se obtiene un archivo con las siguientes características:

```
# Created by GRLINK (2.5)
  xg=10  yg=10  @etd10  result
  0.000  30.000  0.000  0.000
  0.000  40.000  0.000  0.000
  0.000  50.000  0.000  0.000
  0.000  60.000  0.000  0.000
  0.000  70.000  0.000  0.000
  0.000  90.000  0.224  0.224
  0.000  100.000  0.000  0.000
  0.000  110.000  0.000  0.000
 10.000  10.000  0.000  0.000
 10.000  20.000  0.000  0.000
 10.000  30.000  0.000  0.000
 10.000  40.000  0.434  0.434
 10.000  50.000  46.246  46.246
 10.000  60.000  36.867  36.867
```

Grlinka es un programa desarrollado con el lenguaje AWK el cual permite un sencillo manejo de datos contenidos en listas en archivos. Este programa calcula la proporción existente en cada cuadrante de cada arco para posteriormente asignar a esa celda de la grilla el valor proporcional correspondiente de la variable en estudio.

En la siguiente figura se puede apreciar un ejemplo de la división de un arco en diferentes cuadrantes.

Figura Nº IV.6: Ejemplo de División de Arco en Cuadrantes





MEEV llama automáticamente al módulo *grlink* usando como parámetro el archivo *ext_1000.tmp* (el que posteriormente es borrado) y genera el archivo *gri_1000.tmp* que contiene los valores de cada celda.

- GRANNOT:** Es un archivo *.bat* que llama al programa *grannota.exe*. Este programa también fue escrito en AWK y permite generar un archivo con instrucciones que serán posteriormente usada por EMME/2 para dibujar la grilla sobre cualquier dibujo de la red.

Las anotaciones (annotations) son instrucciones que pueden ser usadas para superponer gráficos o texto sobre dibujos generados por EMME/2. A continuación se muestra un ejemplo de una parte de una serie de anotaciones que permite superponer una grilla.

```
u1 1
c5
m1.000 35.000
d1.000 40.000
m2.000 35.000
d2.000 40.000
m3.000 35.000
d3.000 40.000
m4.000 35.000
d4.000 40.000
m0.000 36.000
d5.000 36.000
m0.000 37.000
d5.000 37.000
m0.000 38.000
```

Las anotaciones deben ser escritas en un archivo llamado *annotx*, en que *x* es cualquier letra de la *a* a la *z*, para poder ser leídas desde EMME/2.

GRANNOT utiliza como entrada los valores de cada celda de la grilla contenida en el archivo *gri_1000.tmp* y un archivo que contiene los parámetros que serán usados en el dibujo de la grilla. Este archivo puede ser editado directamente por el usuario o generado mediante el programa *GRPARAM* (ver el siguiente punto para una mayor explicación).

```
grannot paramemi.txt gri_1000.tmp annotc
```

MEEV llama automáticamente al módulo GRANNOT usando como parámetros el archivo *gri_1000.tmp*, y el archivo con parámetros para dibujar la grilla *paramemi.txt* (este archivo debe haber sido preparado antes de correr la macro de emisiones) y crea el archivo *annotc* que contiene las anotaciones para crear la grilla. Se debe tener precaución pues la macro borra cualquier archivo *annotc* existente con anterioridad en el directorio.

- GRPARAM:** Este archivo *.bat* llama al programa *grparama.exe* el que pregunta en forma interactiva las características que tendrá la grilla a ser dibujada y genera un archivo con estas características.

A continuación se muestra un archivo con los parámetros utilizados para realizar el dibujo de la grilla de la Figura N° IV.5.

```
GD      10      10 Horizontal,vertical grid distance
CG      0      Draw complete grid
GC      4      Grid color
DN      @etd10 Name or number of data item to be displayed
RP      0      Representation (0=Class,1=Numbers,2=Proportional)
LG      1      Legend (0=None,1=Default,2=Customized)
LT 'PM10' Legend title
LK      140    30 Lower left corner of first legend box (x1, y1)
NC      5      Number of classes
LC 1    0      2 5 1 1 '<2 kg/hora'
LC 2    2      4 3 1 1 '2-4 kg/hora'
LC 3    4      6 7 1 1 '4-6 kg/hora'
LC 4    6      8 8 1 1 '6-8 kg/hora'
LC 5    8      999999 6 1 1 '>8 kg/hora'
```

En la primera fila se presenta el tamaño de las celdas que en este caso es de 10 por 10 (las unidades deben ser las mismas que las usadas por el módulo grlink). En la segunda fila se determina si se desea dibujar la malla completa o si se desea dibujar celdas sólo cuando existe un arco en dicha celda de la grilla (como en la Figura N° IV.5). La fila tres presenta el color que tendrá la grilla (en la Tabla N° IV.21 se muestran los colores que acepta EMME/2 con su correspondiente número), la cuarta fila contiene la variable que será graficada. La quinta fila presenta el formato de la grilla, el formato usado en la Figura N° IV.5 es por clase y en ella se dibuja cada clase en un color, los otros formatos existentes se explican más adelante en el capítulo. En la sexta fila se determina si se desea una leyenda con las categorías. A continuación se presenta el título que tendrá la leyenda (PM10 en este caso) y la posición de la leyenda en la octava fila. La novena fila que tiene la etiqueta NC contiene el número de clases que serán graficados, las últimas 5 filas contienen los datos de cada una de las clases, estas filas tienen la misma estructura. En la primera columna después de la etiqueta se presenta el número de la categoría (en este caso van del 1 al 5) las columnas 2 y 3 tienen el rango de cada clase, la cuarta columna tiene el color correspondiente a la clase. La quinta y sexta columna tienen el intervalo entre las líneas que forman el achurado de las celdas y la última columna tiene el texto asociado a cada clase que se presenta en la leyenda.

Tabla N° IV.21: Codigos de colores en EMME/2

Código	Color
0	Blanco
1	Negro
2	Rojo
3	Verde
4	Azul
5	Cyan
6	Magenta
7	Amarillo
8	Naranja
9	Verde oscuro
10	Verde claro
11	Azul Claro
12	Violeta

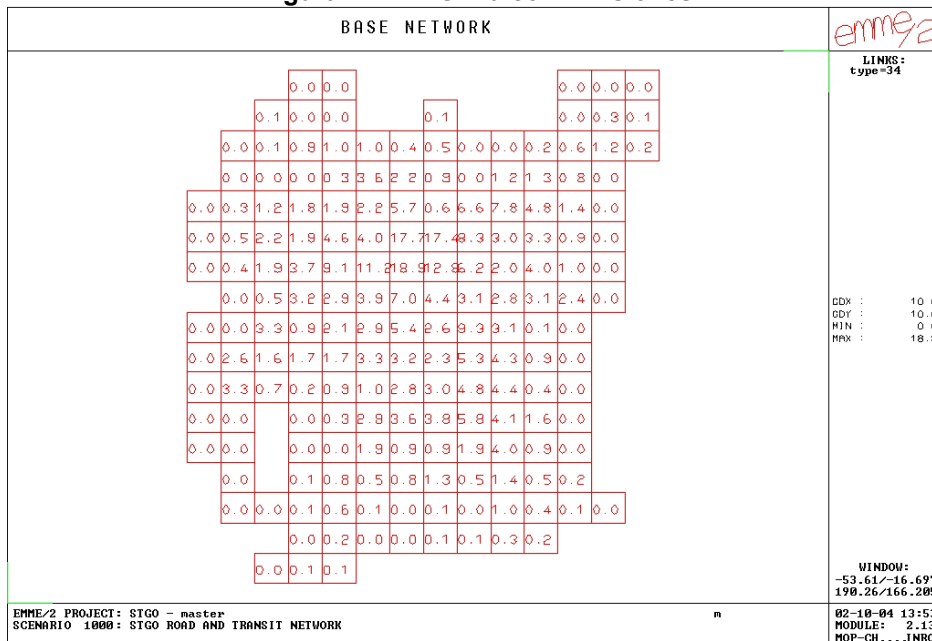


GRTool permite presentar tres tipos de grillas: por clases, en que cada categoría es representada con un color (como en la Figura N° IV.5); con números, en que cada celda lleva su valor (ver Figura N° IV.7) y la proporcional, (ver Figura N° IV.8).

- Grilla con números: otra forma de presentar las grillas es con los valores de cada una de las celdas, a continuación se muestra el archivo paramemi.txt utilizado y el gráfico obtenido, se decidió no imprimir la red de fondo para apreciar de mejor forma los números.

GD	10	10	Horizontal,vertical grid distance
CG	0		Draw complete grid
GC	2		Grid color
DN	@etd10		Name or number of data item to be displayed
RP	1		Representation (0=Class,1=Numbers,2=Proportional)
PC	2		Color of the numbers
NS	3		Text size of the numbers
DT	2		Minimal field width
DF	1		Number of digits after decimal point
DG	0.5	3	Offset of the number inside grid box (xdisp, ydisp)

Figura N° IV.7:Grilla con Emisiones



- Grilla proporcional: En este caso cada celda se llena con líneas en forma proporcional a su valor, mientras mayor es su valor más líneas tiene, hasta lograr un color sólido. Se muestra a continuación el archivo paramemi.txt utilizado. En la sexta fila (con la etiqueta SC) se encuentra el factor de escala, si ese valor es 1 se obtiene la Figura N° IV.8, si el valor es 5 se obtiene la Figura N° IV.9.



GD	10	10 Horizontal,vertical grid distance
CG	0	Draw complete grid
GC	4	Grid color
DN	@etd10	Name or number of data item to be displayed
RP	2	Representation (0=Class,1=Numbers,2=Proportional)
SC	5	Scale factor
PC	4	Color of pattern

Figura N° IV.8: Grilla Proporcional

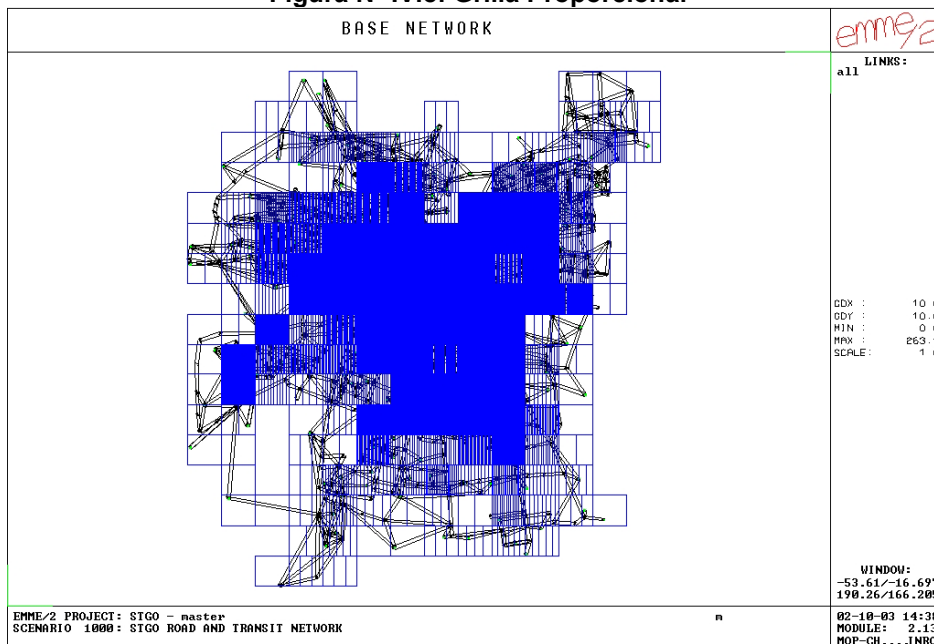
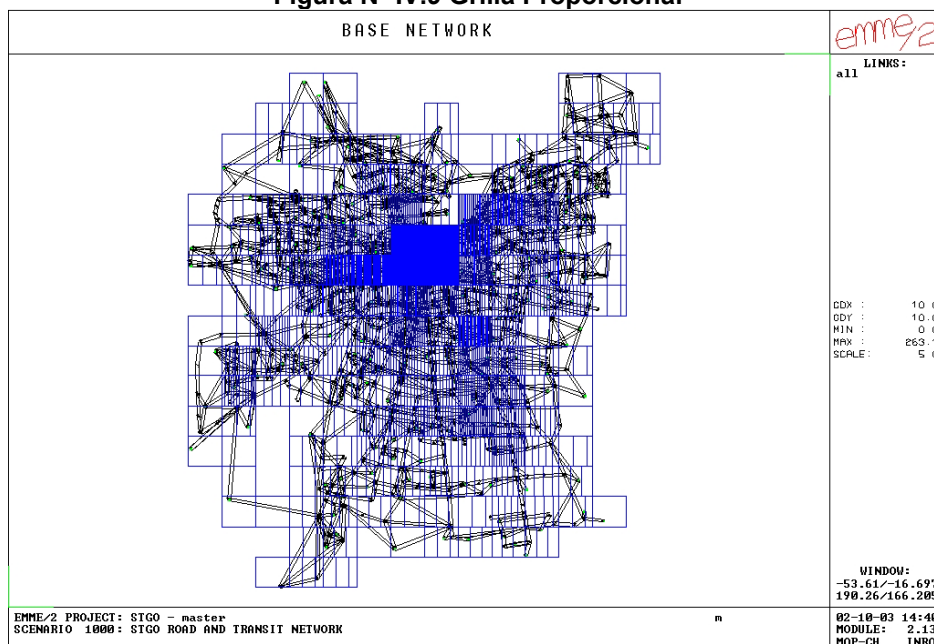


Figura N° IV.9 Grilla Proporcional



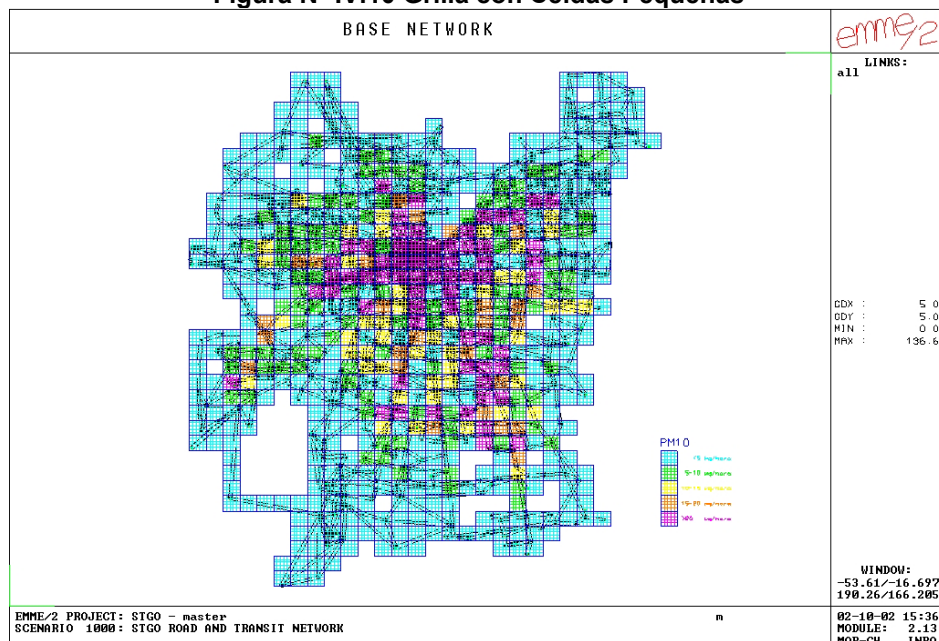
- Tamaño de las Celdas: es posible definir el tamaño de las celdas de la grilla. En el siguiente ejemplo se usaron los mismos datos que para realizar la Figura N° IV.5 pero se escogió un tamaño de celda de 5. Para crear esta grilla se debe cambiar el valor de la variable t5 al interior de la macro de emisiones y se debe editar el archivo paramemi.txt para cambiar el tamaño de la grilla. Además es recomendable cambiar los tramos de los distintos colores de la grilla.

Archivo paramemi.txt utilizado para generar grillas de la Figura N° IV.10

```

GD      5      5 Horizontal,vertical grid distance
CG      0      Draw complete grid
GC      4      Grid color
DN      @etd10 Name or number of data item to be displayed
RP      0      Representation (0=Class,1=Numbers,2=Proportional)
LG      1      Legend (0=None,1=Default,2=Customized)
LT 'PM10' Legend title
LK      140    30 Lower left corner of first legend box (x1, y1)
NC      5      Number of classes
LC 1    0      5 5 1 1 '<5 kg/hora'
LC 2    5      10 3 1 1 '5-10 kg/hora'
LC 3    10     15 7 1 1 '10-15 kg/hora'
LC 4    15     20 8 1 1 '15-20 kg/hora'
LC 5    20     999999 6 1 1 '>20 kg/hora'
  
```

Figura N° IV.10 Grilla con Celdas Pequeñas



IV.4 CONSUMO DE RECURSOS

En el presente punto se analiza la implementación del modelo de consumo de recursos para el modelo de Santiago (MEEV). Primero se presenta la metodología ya revisada en el informe II del presente estudio, a utilizar en la estimación de los consumos.

IV.4.1 RECURSOS CONSIDERADOS Y METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN UNITARIA.

Se presenta a continuación la metodología utilizada en el cálculo de consumos de recursos que permiten realizar la evaluación económica de los escenarios estudiados mediante el modelo MEEV.

Los recursos considerados en el modelo son:

- Consumo de tiempo de los usuarios del sistema.
- Consumo de combustible.
- Consumo de recursos operacionales del vehículo (Lubricantes, neumáticos, repuestos, mano de obra).
- Costos en deterioro de pavimentos.
- Ahorros de flota.

Las funciones de costo presentadas a continuación han sido extraídas de los siguientes estudios:

- MESPIVU: Manual de Evaluación Social de Proyectos de Infraestructura Vial Urbana, Sectra 1988.
- ORREGO: Modelo de Cálculo de Costos Operacionales, Sectra 1989.
- Análisis, Desarrollo y Mantenimiento de Modelos de Transporte Urbano, Sectra 1998: Actualización Modelo Verdi.
- Análisis Incorporación Estado del Pavimento en Costos de Operación de Vehículos, Mideplan, Trasa, 1996.
- Análisis Crítico de Metodologías de Evaluación de Costos de Operación, Sectra.

IV.4.1.1 CONSUMOS DE TIEMPO

Se consideran los tiempos de viaje entregados directamente por el modelo de STGO-EMME/2, a estos tiempos de viaje se les aplica el valor social del tiempo entregado por MIDEPLAN. Los tiempos de viaje considerados son los siguientes:

- Tiempo de viaje modo Caminata
- Tiempo de viaje modo Auto Chofer
- Tiempo de viaje modo Auto Acompañante
- Tiempo de viaje modo Taxi
- Tiempo de viaje modo Bus
- Tiempo de viaje modo TaxiColectivo
- Tiempo de viaje modo Metro
- Tiempo de viaje modo Bus - Metro
- Tiempo de viaje modo Taxi - Metro
- Tiempo de viaje modo Auto Chofer - Metro
- Tiempo de viaje modo Auto Acompañante - Metro

IV.4.1.2 CONSUMOS OPERACIONALES: LUBRICANTES, REPUESTOS, MANO DE OBRA Y NEUMÁTICOS

Para obtener los consumos operacionales se utilizó el modelo Orrego que consiste en una adaptación a las condiciones urbanas del modelo HDMIII (modelo ampliamente utilizado en Chile).

Las expresiones son aplicables para calcular el consumo “unitario” del recurso para cada arco modelado en una red de transporte, es decir, el consumo por vehículo y unidad de longitud, expresado en las unidades de medida que se describen en la siguiente tabla.

Tabla N° IV.22
Unidades de Medida de las funciones de Consumo de Recursos

Item	Unidad de Medida
Lubricantes	Lts/1000km
Repuestos	Fracción Vehículo Nuevo/1000km
Mano de Obra	Hrs/1000km
Neumáticos	Unidades Nuevas/1000km

Se consideraron tres categorías de vehículos, automóviles particulares, taxis y buses urbanos. A continuación se presentan los modelos de consumo para cada una de las categorías de vehículos consideradas.

Modelo Orrego: Taxis y Taxi-Colectivos

- Consumo de Lubricantes

$$C_L = 0.062 + 0.000211 * R_{BI}$$

- Consumo Repuestos

$$C_R = 0.0010346 * \exp(0.0137 * R_{QI}) \quad R_{QI} < 120$$

$$C_R = -0.0016 + 0.00002454 * R_{QI} \quad R_{QI} = 120$$

- Consumo Mano de Obra

$$C_M = f_v * 107.884 * C_R^{0.547}$$

- Consumo Neumáticos

$$C_N = 0.064 + 0.000548 * R_{QI} \quad R_{QI} < 120$$

$$C_N = 0.1298 \quad R_{QI} = 120$$

Modelo Orrego: Automóviles Particulares

- Consumo de Lubricantes

$$C_L = 0.26 + 0.000211 * R_{BI}$$

- Consumo Repuestos

$$C_R = 0.0010302 * \exp(0.0137 * R_{QI}) \quad R_{QI} < 120$$

$$C_R = -0.0034 + 0.00007305 * R_{QI} \quad R_{QI} = 120$$

- Consumo Mano de Obra

$$C_M = f_v * 67.718 * C_R^{0.547}$$

- Consumo Neumáticos

$$C_N = 0.204 + 0.000548 * R_{QI} \quad R_{QI} < 120$$

$$C_N = 0.2698 \quad R_{QI} = 120$$

Modelo Orrego: Buses Urbanos

- Consumo de Lubricantes

$$C_L = 5.26 + 0.000211 * R_{BI}$$

- Consumo Repuestos

$$C_R = 0.00003888 + 0.00000976 * R_{QI}$$

- Consumo Mano de Obra

$$C_M = 250.865 * C_{CR}^{0.519}$$

- Consumo Neumáticos

$$C_N = 0.161 + 0.000175 * R_{QI}$$

Donde:

C_L : Consumo unitario de lubricantes

C_R : Consumo unitario de repuestos

C_M : Consumo unitario de mano de obra

C_N : Consumo unitario de neumáticos

R_{BI} : Rugosidad del arco, expresada en BI.

R_{QI} : Rugosidad del arco, expresada en QI, donde $R_{QI} = 0.0416 * R_{BI}^{0.89}$.

La metodología ORREGO considera la corrección del consumo de Mano de Obra por un factor asociado a la velocidad. Este valor está tabulado por intervalos, a partir de datos de estudios extranjeros.

Tabla N° IV.23: Factor de Corrección del Consumo Mano de Obra

Vel (km/hr)	10	15	20	25	30	35	40	45
Factor f_v	2.5	1.867	1.525	1.32	1.183	1.086	1.013	0.986

Para facilitar la implementación computacional de MEEV se decidió ocupar una función que interpolara los datos presentados en la Tabla N° IV.23. La función utilizada finalmente para realizar el cálculo del factor de corrección es la siguiente:

$$fv = 11,1606 \cdot V^{-0.6558}$$

Donde:

V : es la velocidad en el arco expresada en km./hr

Finalmente, para determinar el consumo total de un recurso x en un arco a , por el modo m se debe utilizar la siguiente expresión:

$$Consumo_{xam} = C_{xm} * Flujo_{am} * Longitud_a$$

Donde:

C_{xm} : Consumo unitario del recurso x por el modo m .

$Flujo_{am}$: Flujo en el arco a de vehículos del modo m .

$Longitud_a$: Longitud del arco a .

$Consumo_{xam}$: Consumo en arco a del recurso x por modo m

IV.4.1.3 CONSUMO COMBUSTIBLE

Las expresiones detalladas anteriormente fueron extraídas de adaptaciones del modelo HDMIII al contexto de redes urbanas. Por otra parte, para el caso de consumo de combustible las formulaciones existentes en HDMIII no son la más adecuadas para el caso urbano, debido a que en la operación urbana el consumo de combustible es muy sensible a las condiciones de operación en congestión, influenciado por la velocidad y el número de detenciones de los vehículos, aspectos no incluidos en el mencionado modelo.

Para obtener el consumo de combustible se consideraran tres alternativas: el consumo de combustible entregada por el modelo Orrego, el consumo de combustible que entrega el modelo Verdi y el modelo de consumo entregada por el modelo MODEM.

1. el "Manual de Diseño y Evaluación de Vialidad Urbana" recomienda utilizar las tablas de Bowyer, Akcelik y Biggs (1985), adaptadas a la realidad chilena.

Para facilitar la implementación de este modo se procedió a realizar una interpolación de los valores presentados en estas tablas con lo que se pudo definir las siguientes funciones de consumo de combustible en movimiento.

$$C_{a,Liviano} = 0,00000952 \cdot V^4 - 0,0025456 \cdot V^3 + 0,25547 \cdot V^2 - 11,094 \cdot V + 246,73$$

$$C_{a,Bus} = 0,00001725 \cdot V^4 - 0,0047486 \cdot V^3 + 0,49888 \cdot V^2 - 23,192 \cdot V + 629,11$$

Así, el consumo de combustible en un arco a para un vehículo tipo k se puede expresar como sigue:

$$C_{ak} = L_a * cm_{ak}$$

donde:

C_{ak} :Consumo por unidad de flujo, arco a, tipo vehículo k.

L_{ak} :Longitud arco a.

cm_{ak} :Consumo unitario en movimiento arco a, tipo vehículo k.

El consumo está especificado sólo para dos tipos de vehículos, por lo que le resto deben ser asimilados a esta tipología.

- Para el caso de consumo de combustible, el tipo de función que utiliza Verdi corresponde a un polinomio que queda definido mediante la siguiente expresión (lts/1000km):

$$Cc = (126.8 - 1.833 * V + 0.0152 * V^2 - 1.15 * f_{pv} + 68.4 * V^{-1} * f_{pv} + 0.53 * V^{-1}) * f_{pm}$$

donde:

f_{pm} : Factor de corrección por modo de transporte (1 para vehículos livianos, 3 para buses).

f_{pv} : Factor de corrección por velocidad.

V : Velocidad promedio de circulación de los vehículos en el arco (km/hr).

El detalle de los factores utilizados se encuentra en el informe de avance numero 2 del presente estudio.

- Debido a la antigüedad de los modelos presentados se decidió implementar también el modelo de consumo de combustible existente en el modelo MODEM de emisiones pues se considero que sus funciones presentan valores mas actualizados de consumo y también permite realizar el cálculo de mas categorías de vehículos como los camiones. El detalle de este modelo de consumo se puede encontrar con los factores de emisión del modelo de emisiones.

El usuario de MEEV tiene la posibilidad de elegir cual modelo de consumo de combustible utilizar para realizar la evaluación social, estando como predefinido el modelo de consumo de combustible Verdi.

IV.4.1.4 MODELO DE DETERIORO

Un ítem interesante de incorporar al modelo de evaluación es el relacionado con el deterioro de las vías que conforman la red en estudio debido a la circulación de los vehículos, y los costos de mantención asociados a este fenómeno. En este sentido, existen desarrollos de tipo metodológicos, entre las que se cuentan el ya mencionado modelo Verdi, y el modelo de deterioro desarrollado por Trasa para Mideplan el año 1996. Se utilizará este último como documento de referencia.

Se considera la siguiente formulación matemática para el diseño en hormigón. Para el método de diseño utilizado en la actualidad se considera que el tránsito solicitante acumulado, expresado en ejes equivalentes a 8,15 (ton), necesario para que el pavimento pase de un índice de serviciabilidad 4,5 a uno final de P_t está determinado por la siguiente expresión.

$$T_t = \frac{(H + 2.54)^{7.35}}{1081} \times \left[\frac{4.5 - P_t}{3} \right]^{\left(\frac{1}{1 + \left(\frac{18.07}{H + 2.54} \right)^{8.46}} \right)} \times \left[\frac{\sigma}{48.51} * \frac{H^{0.75} - 2.28}{H^{0.75} - 2 * K^{0.25}} \right]^{(2.75 + \frac{4.5 - P_t}{3})}$$

Donde:

- T_t :Tráfico acumulado, expresado en ejes simples equivalentes de 8,15 (ton),necesario para que el pavimento pase de un índice de serviciabilidad inicial de 4,5 a uno de valor P_t .
- H :Espesor de la losa de hormigón de cemento, expresado en centímetros.
- σ :Tensión de trabajo del hormigón, expresado en $(\text{kgf/cm}^2)=0,75 \text{ Rd}$.
- K :Módulo de reacción de la subrasante o el módulo corregido por la sub-base, expresado en (kgf/cm^3)
- P_t :Índice de serviciabilidad en el tiempo t.

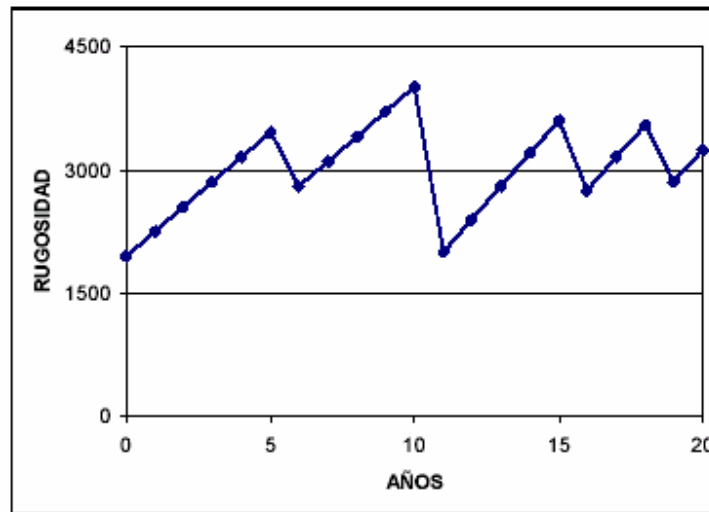
En tanto que la rugosidad (R_t) se determina por la siguiente expresión:

$$R_t = 636.62 \times \sqrt{189.01 * \exp(-0.9 * P_t)} + 844.7$$

Por otra parte, la aplicación de las acciones de conservación de los pavimentos, tienen un efecto en el tiempo sobre la rugosidad como la que se presenta como ejemplo en la siguiente figura.

Al final de cada año se analiza si cada arco ha llegado a un nivel de serviciabilidad que haga necesaria su repavimentacion. De ser así se repara la vía quedando con una rugosidad mínima.

Figura N° IV.11: Ejemplo de Progresión de la Rugosidad



En esta figura se aprecia que en algunos años se aplican acciones que cambian radicalmente la rugosidad para el año siguiente (años 10-11), debiendo decidir entonces cual es el valor que representa la rugosidad de ese corte temporal.

IV.4.1.5 AHORRO DE FLOTA

El tamaño de flota de los servicios de transporte público, en particular los buses, depende de la velocidad de operación en la red. Al bajar las velocidades de circulación es necesario aumentar la flota de buses de cada línea ya que el tiempo que requiere cada bus para realizar un circuito es



mayor y se deben mantener las frecuencias. Se puede estimar la flota necesaria de cada línea mediante el siguiente función.

$$F_i = T_i \cdot f_i$$

Donde:

F_i : Flota mínima requerida por la línea i expresada en buses

T_i : Duración máxima del recorrido expresada en horas

f_i : Frecuencia máxima de salida de buses expresada en buses por hora.

La flota es calculada para cada una de las líneas y el tamaño de la flota de cada línea debe ser aproximada al entero superior.

IV.4.1.6 OTRAS CONSIDERACIONES

Durante la implementación del modelo de deterioro es necesario definir una serie de valores, a continuación se entregan algunos valores tipo.

1. Valor social de los insumos.

MIDEPLAN¹³ entrega los precios sociales para la evaluación social de proyectos, que buscan reflejar el verdadero costo para la sociedad de utilizar unidades adicionales de estos factores.

A continuación se entregan los principales precios Sociales para proyectos de transporte expresados en pesos del 31 de Diciembre de 2001.

¹³ Sistema de Estadísticas Básicas de Inversión - SEBI 2003

Tabla N° IV.24: Precios Sociales para Proyectos de Transporte

Combustible	(\$/litro)
- Automóviles	192,9
- Camionetas	192,5
- Camiones de dos ejes	182,5
- Camiones de más de dos ejes	177,9
- Buses	177,9
Lubricante	(\$/litro)
- Automóvil	2.096
- Camionetas	2.096
- Camiones de dos ejes	1.321
- Camiones de más de dos ejes	1.321
- Buses	1.321
Neumáticos	(\$/unidad)
- Automóviles	24.469
- Camionetas	44.910
- Camiones de dos ejes	102.530
- Camiones de más de dos ejes	133.295
- Buses	142.545
Vehículo nuevo	(miles\$/unidad)
- Automóviles	7.795
- Camionetas	8.549
- Camiones de dos ejes	23.046
- Camiones de más de dos ejes	58.414
- Buses	86.644
Hora de Mantenición	(\$/hora)
- Automóviles	4.506
- Camionetas	4.506
- Camiones de dos ejes	4.506
- Camiones de más de dos ejes	4.506
- Buses	4.506

Fuente: MIDEPLAN

2. Rugosidad inicial.

Debido a la inexistencia de información actualizada de la rugosidad de las calles en la ciudad de Santiago se debe definir un valor inicial de la rugosidad.

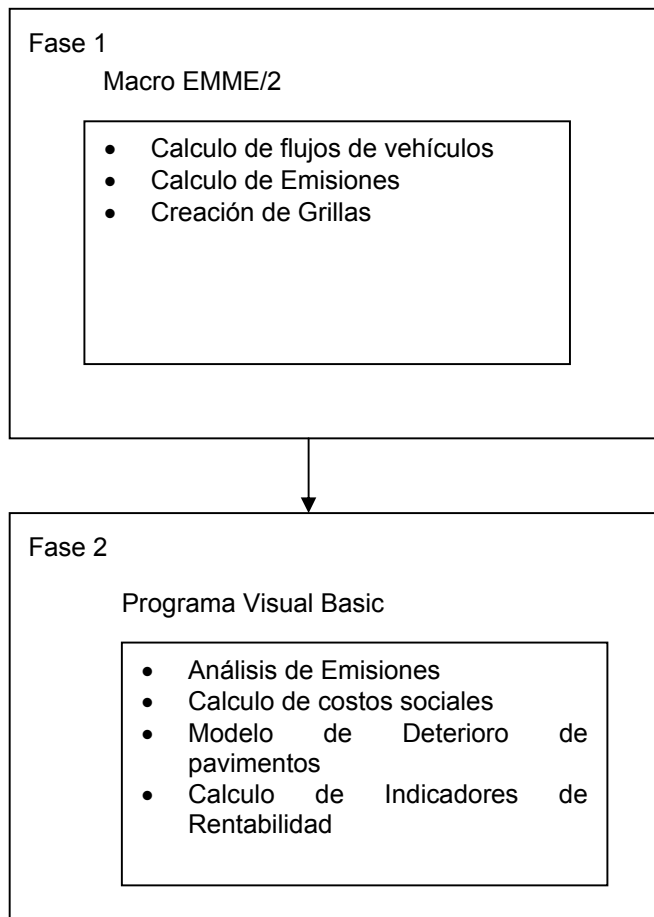
La rugosidad es expresada en mm/km, una calle recién pavimentada tiene una rugosidad de aproximadamente 2000 mm/km, se considera que en promedio las calles en la ciudad de Santiago presentan una rugosidad promedio de entre 3000 y 3500 mm/km.

IV.5 ESTRUCTURA E IMPLEMENTACION DEL MODELO MEEV

En este punto se explica la implementación computacional del modelo MEEV y se explica su funcionamiento.

El modelo de estimación de emisiones y evaluación económica MEEV cuenta con dos fases. La primera consiste en la aplicación de un programa interno al modelo Stgo-EMME/2 que tiene por objetivo realizar algunos cálculos y preparar archivos para la siguiente fase. La primera fase está programada en forma de macro (serie de instrucciones) de emme/2.

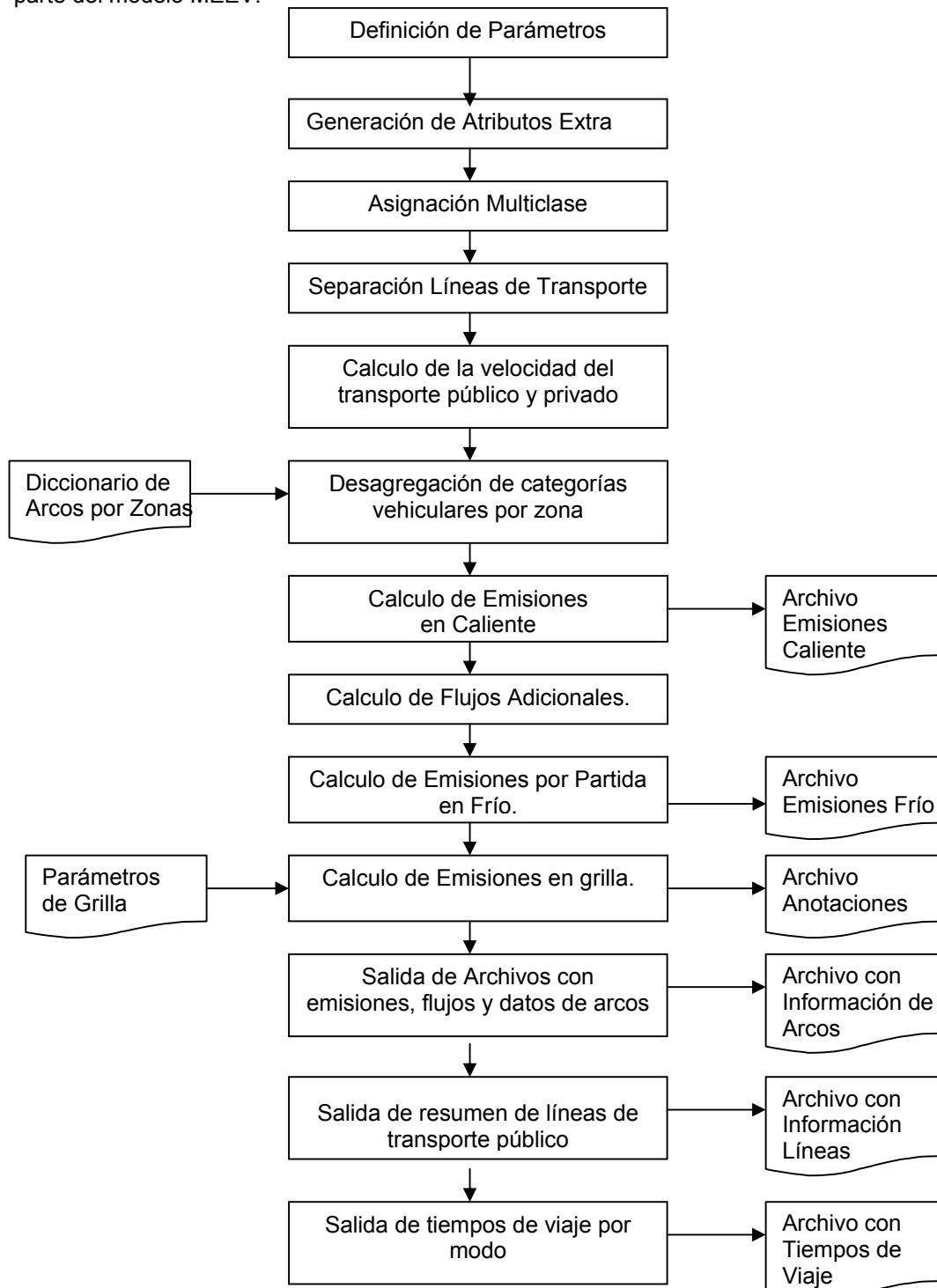
La segunda fase consiste en un programa ejecutable desarrollado en visual basic que permite analizar los datos entregados por la primera fase, analizar el deterioro del pavimento, calcular los consumos unitarios y realizar una comparación entre escenarios de forma de obtener los principales indicadores económicos de un proyecto.





IV.5.1 FASE 1

En el siguiente esquema se presentan las principales secciones que presenta la macro que forma parte del modelo MEEV.



1. Generación de atributos extra: Se crean los siguientes atributos extra que serán utilizados por la macro:
 - @eautc: Guarda las emisiones de los vehículos catalíticos.
 - @eauts: Guarda las emisiones de los vehículos sin convertidor catalítico.
 - @ecom: Guarda las emisiones de los vehículos comerciales con convertidor catalítico.
 - @ecoms: Guarda las emisiones de los vehículos comerciales sin convertidor catalítico.
 - @ecomd: Guarda las emisiones de los vehículos comerciales diesel.
 - @etaxc: Guarda las emisiones de los Taxis con convertidor catalítico.
 - @etaxs: Guarda las emisiones de los Taxis sin convertidor catalítico.
 - @ecolc: Guarda las emisiones de los Taxis-Colectivos con convertidor catalítico.
 - @ecols: Guarda las emisiones de los Taxis-Colectivos sin convertidor catalítico.
 - @ebus0: Guarda las emisiones de los Buses con tecnología Pre-EPA91.
 - @ebus1: Guarda las emisiones de los Buses con tecnología EPA91.
 - @ebus2: Guarda las emisiones de los Buses con tecnología EPA94.
 - @ebus3: Guarda las emisiones de los Buses con tecnología EPA98.
 - @ecam2: Guarda las emisiones de los Camiones de dos ejes.
 - @ecam3: Guarda las emisiones de los Camiones de mas de dos ejes.
 - @spd: Contiene la velocidad del transporte privado en el arco.
 - @spdtr: Es la velocidad del transporte público.
 - @zona: Almacena un número que indica la zona a la que pertenece el arco.
 - @vtot: Flujo total en cada arco.
 - @vaut: Flujo en el arco de todos los automóviles y vehículos comerciales.
 - @vtax: Flujo en el arco de todos los taxis.
 - @vautc: Flujo en el arco de los automóviles con convertidor catalítico.
 - @vauts: Flujo en el arco de los automóviles sin convertidor catalítico.
 - @vtaxc: Flujo en el arco de los taxis con convertidor catalítico.
 - @vtaxs: Flujo en el arco de los taxis sin convertidor catalítico.
 - @vcomc: Flujo en el arco de los vehículos comerciales con convertidor catalítico.
 - @vcoms: Flujo en el arco de los vehículos comerciales sin convertidor catalítico.
 - @vcomd: Flujo en el arco de los vehículos comerciales diesel.
 - @vcolc: Flujo en el arco de los Taxis-Colectivos con convertidor catalítico.
 - @vcols: Flujo en el arco de los Taxis-Colectivos sin convertidor catalítico.
 - @vbus0: Flujo en el arco de los buses Pre-EPA91.
 - @vbus1: Flujo en el arco de los buses EPA91.
 - @vbus2: Flujo en el arco de los buses EPA94.
 - @vbus3: Flujo en el arco de los buses EPA98.
 - @vcam2: Flujo en el arco de los Camiones de dos Ejes.
 - @vcam3: Flujo en el arco de los Camiones de mas de dos ejes.
 - @etcov: Emisiones totales de Compuestos Orgánicos Volátiles.
 - @etco: Emisiones totales de Monóxido de Carbono.
 - @etnox: Emisiones totales de Oxidos de Nitrógeno.
 - @etso2: Emisiones totales de Dióxido de Azufre.
 - @etd10: Emisiones totales de material particulado directo.
 - @etch4: Emisiones totales de Metano
 - @etn2o: Emisiones totales de Oxido Nitroso.
 - @eteer: Emisiones totales de COV por emisiones evaporativas.
 - @etco2: Emisiones totales de Dióxido de Carbono.
 - @etnh3: Emisiones totales de Amoniaco
 - @volad: Contiene los flujos extra ocupados en el cálculo de emisiones por partida en frío.

Esos atributos extra son creados solamente si no han sido creados con anterioridad. Si la macro falla durante este procedimiento se debe seguramente a que se ha alcanzado el límite máximo de

atributos extra que puede mantener EMME/2. En este caso se recomienda inicializar todos los atributos extra (todos los atributos extra se borrarán) y aplicar nuevamente la macro.

2. Asignación Multiclase: Se realiza una asignación multiclase que permite obtener los flujos de Taxis y Automóviles por separado.
3. Separación de líneas de transporte: Se guardan en un atributo extra los flujos de las líneas de transporte público.
4. Cálculo de la velocidad del transporte público y privado. La velocidad del transporte privado se calcula como el largo del arco dividido por el tiempo de viaje en el arco. La velocidad del transporte público se calcula aplicándole un factor a la velocidad del transporte privado, este factor depende de la función flujo-demora existente en el arco.

Tabla N° IV.25: Factores a emplear en el cálculo de la Velocidad de Buses

Categoría (vdf) del Arco	V_{Auto}/V_{Bus}
1	1,1068
2	----
3	1,5545
4	1,4210
5	1,4444
6	----
7	1,3000
8	1,4000
11	1,3000

Fuente: ESTRAUS

5. Desagregación de categorías vehiculares por zona: Para lograr la desagregación de los vehículos según sus categorías (catalíticos, no catalíticos y Diesel) se ingresa a partir del archivo Zonas_MEEV.txt la zona a la que pertenece cada arco al atributo extra @zona. Si alguno de los arcos no se encuentra en el archivo Zonas_MEEV.txt el programa asume una desagregación promedio para dicho arco.
6. Cálculo de Emisiones en Caliente: Para cada uno de las emisiones en caliente consideradas se calculan las emisiones para cada una de las categorías existentes y se guardan las emisiones de cada uno de los arcos para cada categoría de vehículo en un archivo. A continuación se presentan los archivos que guardan las emisiones en caliente.
 - **meev_c_SO2.txt:** Archivo que contiene las emisiones en caliente de SO₂.
 - **meev_c_NOx.txt:** Archivo que contiene las emisiones en caliente de SO_x.
 - **meev_c_N2O.txt:** Archivo que contiene las emisiones en caliente de N₂O.
 - **meev_c_eer.txt:** Archivo que contiene las emisiones en caliente de Emisiones Evaporativas.
 - **meev_c_d10.txt:** Archivo que contiene las emisiones en caliente de Material Particulado.
 - **meev_c_COV.txt:** Archivo que contiene las emisiones en caliente de Compuestos Orgánicos Volátiles.
 - **meev_c_CO2.txt:** Archivo que contiene las emisiones en caliente de CO₂.
 - **meev_c_CO.txt:** Archivo que contiene las emisiones en caliente de CO.
 - **meev_c_CH4.txt:** Archivo que contiene las emisiones en caliente de CH₄.

Antes de intentar grabar cada archivo se trata de borrar alguna versión anterior de él lo que puede producir mensajes de advertencia que no afectan el funcionamiento de la macro.

7. Cálculo de Flujos Adicionales: Se calcula mediante el operador CUTOFF de EMME/2, los flujos adicionales de los primeros kilómetros de recorrido. Este calculo se realiza para los primeros siete kilómetros de recorrido de los automóviles y se divide en siete intervalos de un kilometro cada uno. Se guardan en archivos temporales los flujos asociados a cada uno de estos intervalos. Los nombres de estos archivos son:

- volad_0_1.tmp
- volad_1_2.tmp
- volad_2_3.tmp
- volad_3_4.tmp
- volad_4_5.tmp
- volad_5_6.tmp
- volad_6_7.tmp

8. Calculo de Emisiones por Partida en Frío: A partir de los archivos que contienen los flujos de vehículos que están comenzando su recorrido creados en la sección anterior se calculan las emisiones por partida en frío que son almacenadas a su vez en cuatro archivos, uno por cada tipo de contaminante considerado.

- **meev_f_NOx.txt:** Archivo que contiene las emisiones en caliente de NO_x
- **meev_f_COV.txt:** Archivo que contiene las emisiones en caliente de COV
- **meev_f_CO2.txt:** Archivo que contiene las emisiones en caliente de CO₂
- **meev_f_CO.txt:** Archivo que contiene las emisiones en caliente de CO

Finalmente se borran los archivos temporales creados en el punto anterior.

9. Calculo de Emisiones en grilla: En este punto se llaman los programas que realizan el cálculo de emisiones por grilla los que a partir del archivo que contiene los parámetros **paramemi.txt** permiten obtener el archivo **annotc** que posteriormente puede ser usado para superponer una grilla a la red en estudio.

10. Salida de Archivos con emisiones, flujos y datos de arcos: En la ultima etapa de la macro se crea un archivo que permitirá calcular el consumo de recursos. Este archivo contiene la velocidad del transporte público y privado para cada arco, la longitud de los arcos y los flujos de los distintos tipos de vehículos en cada uno de los arcos.

- **meev_e_econ.txt:** Archivo que contiene Datos que permiten realizar el cálculo de consumo de recursos.

11. Salida de resumen de líneas de transporte público: Se crea un archivo que contiene información de cada línea como frecuencias de salida, tiempo de recorrido, etc.

- **meev_e_lin.txt:** Archivo que contiene Datos que permiten realizar el cálculo de flota requerida.

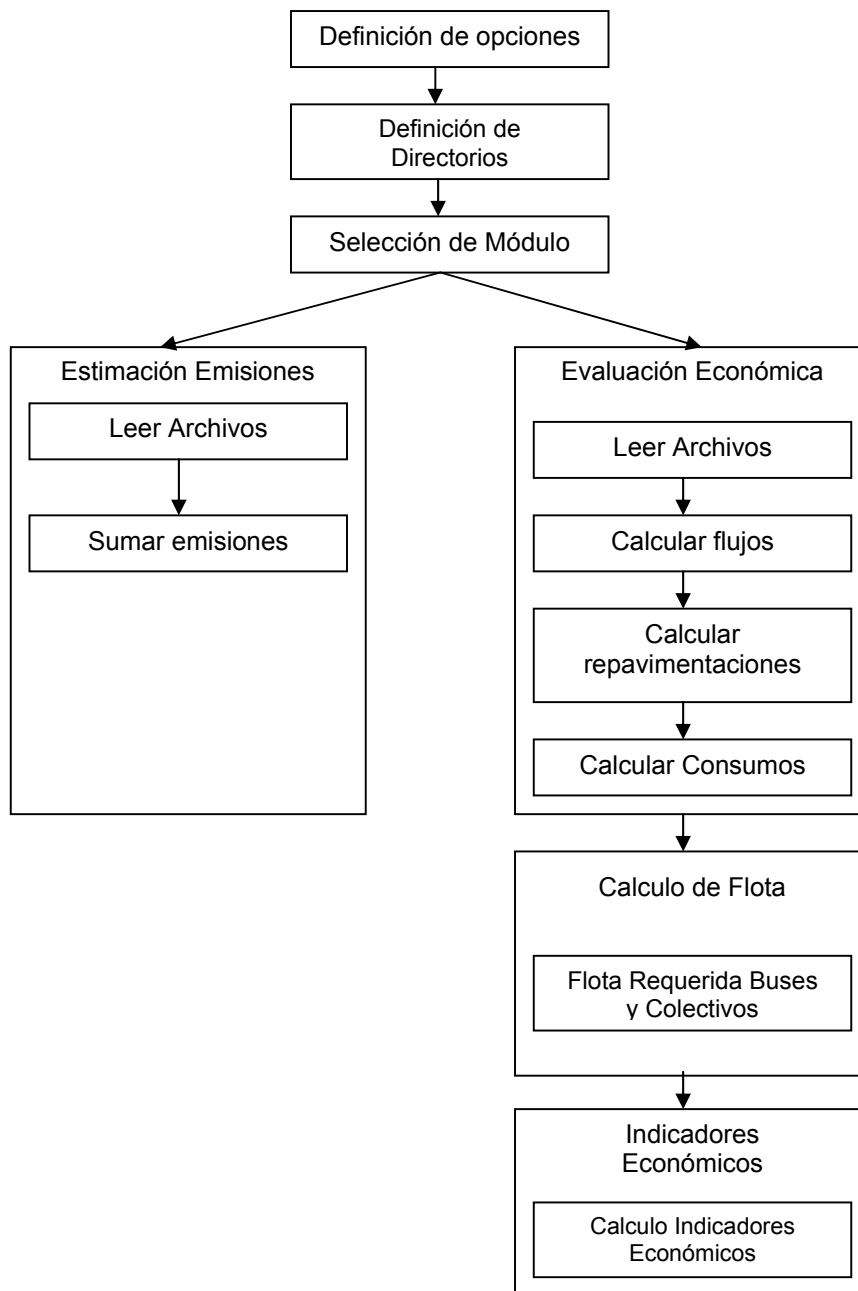
12. Salida de tiempos de viaje por modo: Entrega un archivo que contienen los tiempos de viaje para cada uno de los modos existentes en el modelo de Santiago.

- **meev_e_tmp.txt:** Archivo que contiene tiempos de viaje por modo.

IV.5.2 FASE 2

Una vez que se han extraído los principales datos desde EMME/2 se aplica el programa MEEV que permite realizar el cálculo del deterioro de pavimento, de los costos sociales asociados a un escenario, obtener indicadores de rentabilidad y entregar un resumen de las emisiones por categoría de vehículo.

MEEV permite incorporar hasta tres corridas, dos que definen la situación base tanto para el año 0 como para un año posterior y una corrida que contenga un escenario en un año posterior.



El programa se divide en 4 secciones principales, cada una de ellas asociada a una ventana que puede ser llamada mediante los botones que se encuentran en la parte superior de la ventana principal. Las cuatro ventanas son Opciones, Estimación de emisiones, Evaluación económica e Indicadores económicos.

IV.5.2.1 OPCIONES:

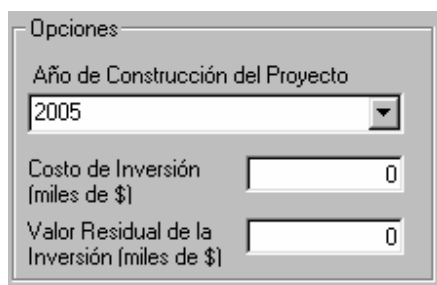
Esta es la ventana con que se abre el programa y permite ingresar los parámetros que serán utilizados en los cálculos que realizara el programa, a continuación se presentan los parámetros existentes y su significado.

1. Definición de directorios de los escenarios



En esta sección se puede ingresar los directorios en que se encuentran los archivos creados por la macro y que serán leídos con posterioridad. La elección de cada directorio se realiza al apretar el botón Examinar con lo que se abre una ventana que permite seleccionar el directorio. Adicionalmente se debe escoger el año al que corresponden los datos existentes en cada directorio

2. Opciones del Proyecto



Permite definir el año en que se construyo el proyecto así como el monto de la inversión y el costo residual del proyecto. Al comparar la situación base el año 0 y algún escenario se encontrara que existen arcos que aparecen o desaparecen, se considerara que estos cambian con la realización del proyecto.



3. Definición del valor social de los insumos.

Valores Sociales		Automoviles	Buses
Combustible	\$/litro	192,2	177,9
Lubricantes	\$/litro	2096	1321
Neumaticos	\$/unidad	24469	142545
Vehiculo miles	\$/unidad	7795	86644
Hora mantencion	\$/hora	4506	4506
Tiempo viaje	\$/hora	746	746
Costo Reparacion miles	\$/kilometro		0

En esta sección se deben incluir los valores sociales de los insumos tanto para los automóviles como para los buses. Como valores predefinidos se utilizan los valores entregados por el Mideplan para la evaluación de proyectos de transporte durante el proceso presupuestario 2003 (los valores se encuentran expresados en pesos de diciembre del año 2001)¹⁴.

4. Estado inicial del pavimento

Condiciones Iniciales del Pavimento	
<input checked="" type="checkbox"/> Calcular usando deterioro de pavimento	
Espesor pavimento (cm)	25
Ejes acumulados Iniciales	100000
Rugosidad Inicial (mm/Km)	2000

Esta sección permite definir el estado inicial del pavimento mediante dos parámetros el espesor del hormigón (a mayor espesor soporta mejor el paso de los vehículos) y el número de ejes acumulados iniciales. A partir de estos datos se entrega la rugosidad inicial.

Adicionalmente existe la opción de desactivar el calculo de deterioro de pavimento lo que no solo afecta la repavimentación, también afecta los consumos que dependen de la rugosidad de las calles.

¹⁴ Fuente: Sistema de Estadísticas Básicas de Inversión -SEBI 2003, MIDEPLAN

5. Criterio de repavimentación.

Criterio de repavimentación	
Nivel de Serviciabilidad (0 - 4,5)	<input type="text" value="2,0"/>
Rugosidad mm/km	<input type="text" value="4403"/>

Se puede definir el criterio de repavimentación tanto por el nivel de serviciabilidad como por la rugosidad, si se cambia uno de estos valores el otro cambiara automáticamente para representar este cambio. En el momento en que un arco alcanza el nivel del criterio el nivel de serviciabilidad pasa a 4,5 y se almacena el largo del arco.

6. Tasas de crecimiento del flujo y tasa de descuento social.

Tasas de Crecimiento y de Descuento		
Tasa crecimiento anual del flujo %		
Automoviles	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="5"/>
Buses	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="5"/>
Taxi-Taxicolectivo	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="5"/>
Camion	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="5"/>
Tasa Social de descuento (%)	<input type="text" value="10"/>	

Las tasas de crecimiento anual de flujo presentan dos columnas, la primera permite fijar las tasas de crecimiento para el periodo que va entre las modelaciones y la segunda columna permite fijar las tasas de crecimiento del flujo para el periodo posterior a la ultima modelación.

7. Factor de expansión

Factor de Expansión	
Factor de Expansión Hora Punta->Año	<input type="text" value="5000"/>

Este parámetro permite fijar el factor de expansión que permite pasar de una hora punta a año.

IV.5.2.2 ESTIMACIÓN DE EMISIONES.

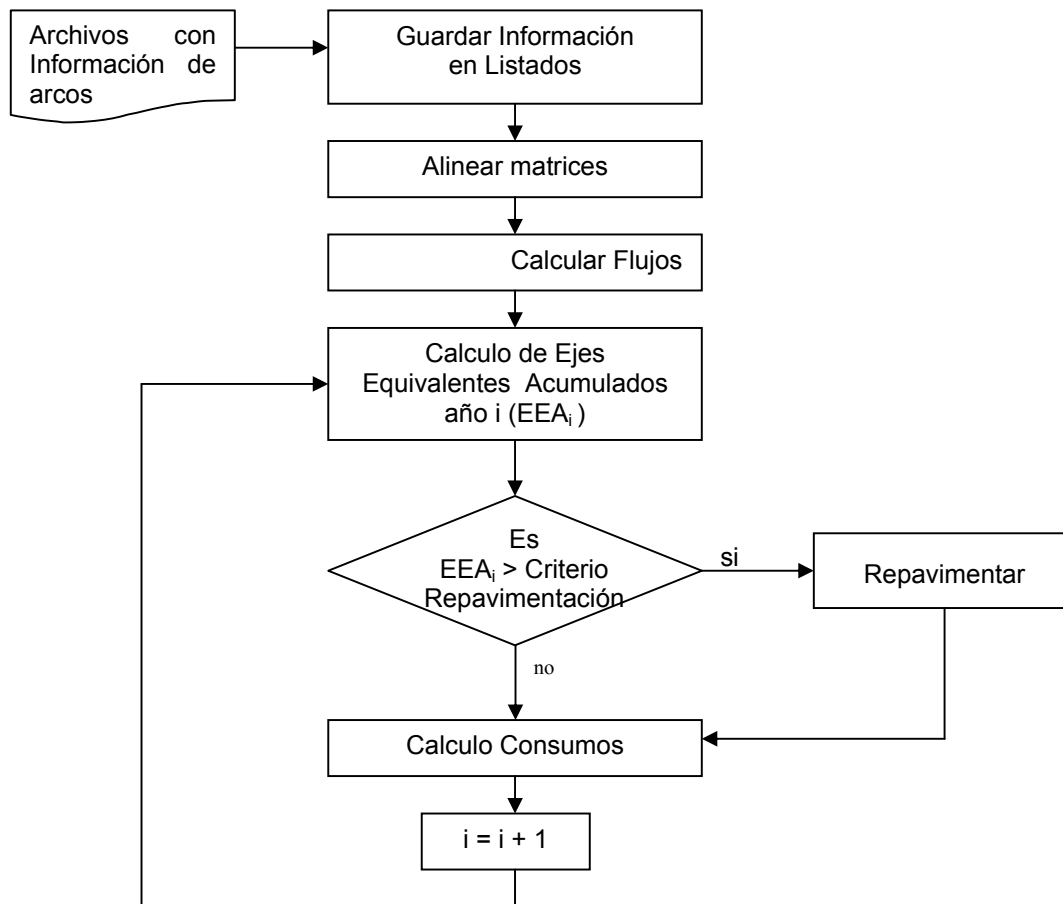
En esta pantalla se puede apreciar un resumen de las emisiones anuales de cada uno de los escenarios en estudio, Los resultados se presentan para cada contaminante y para cada categoría vehicular.



IV.5.2.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA

En esta pantalla se muestra una estimación del consumo de recursos para cada año de duración del proyecto, adicionalmente se puede apreciar los metros de calles que deben ser repavimentadas de acuerdo al criterio existente.

A continuación se presenta el diagrama de flujo de la rutina que permite realizar el calculo del consumo de recursos.



1. Guardar información en listados: Se leen los archivos **meev_e_econ.txt** que contienen los principales datos de cada arco como flujo por categoría de vehículos, largo del arco y velocidad de circulación. Esta información es ingresada a una matriz que contiene la información de cada arco en una fila.
2. Alinear listados: Al comparar dos redes es posible que arcos hayan dejado de existir o algún arco se haya creado, por lo tanto antes de poder comparar dos redes es necesario identificar que arcos sufrieron modificaciones.

Para poder alinear los dos listados que contienen la información de los arcos se creó un algoritmo que va revisando fila a fila las matrices que contiene los siguientes pasos.



Sea $M1_{i,a}$ el arco a existente en la fila i del listado $M1$.

- Se comienza en la fila 1 de los dos listados ($i=1$).
- Si $M1_{i,a} = M2_{i,a}$ (los arcos en la fila i de los dos listados son los mismos) entonces se pasa a la siguiente fila de la matrices ($i=i+1$)
- Si $M1_{i,a} \neq M2_{i,a}$ (los arcos en la fila i de los dos listados NO son los mismos) entonces se revisa si $M1_{i,a} = M2_{k,a} \forall k>i$ (existe el arco a del listado $M1$ en alguna otra ubicación de $M2$).
- Si $M1_{i,a} = M2_{k,a} \forall k>i$ significa que el arco $M2_{i,a}$ no existe en el listado $M1$, se mueven todas las filas mayores a i del listado $M1$ en una posición y en la fila i se coloca un valor 0 para representar que ese arco fue creado con posterioridad al año que representa el listado $M1$.
- Si $M1_{i,a} \neq M2_{k,a} \forall k>i$ significa que el arco $M1_{i,a}$ no existe en el listado $M2$, se mueven todas las filas mayores a i del listado $M2$ en una posición y en la fila i se coloca un valor 0 para representar que ese arco fue eliminado con posterioridad al año que representa el listado $M1$.

Con esto se obtienen dos listados cuyas filas contienen los mismos arcos en periodos distintos.

3. Calcular flujos: Los listados $M1$ y $M2$ contienen los flujos en cada arco para dos años, es necesario realizar una estimación de los flujos para los restantes años de evaluación. Para obtener los flujos de los años que se encuentran entre los años con datos conocidos se decidió realizar una interpolación lineal de los flujos, para los años posteriores a la ultima modelación se utilizan las tasas de crecimiento definidas en las opciones del programa.

Existen tres pestañas que permiten seleccionar que datos se desean ver, puede ser las unidades de recursos, su valor social o su valor social actualizado mediante la tasa de descuento.

	Consumos Unitarios		Consumo				Consumo Actualizado		
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Año	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	20
Lubricante Autos [miles litros]	15845	15567	15309	15100	14261	13923	13589	13352	129
Lubricante Taxis [miles litros]	170	167	163	160	133	128	123	119	1
Lubricante Buses [miles litros]	13175	13239	13316	13413	13466	13516	13571	13665	136
Repuestos Autos [vehiculos]	39115	38354	37647	37080	34963	34086	33207	32599	314
Repuestos Taxis [vehiculos]	589	573	558	545	451	432	413	396	3
Repuestos Buses [vehiculos]	940	972	1012	1065	1081	1109	1140	1198	11
Mano Obra Autos [miles horas]	104	91	86	83	78	76	75	75	
Mano Obra Taxis [miles horas]	0	0	0	0	0	0	0	0	
Mano Obra Buses [miles hora]	0	0	0	0	0	0	0	0	
Neumaticos Autos [miles unida]	5121	4998	4876	4756	4472	4339	4206	4077	39
Neumaticos Taxis [miles unida]	29	28	27	26	22	21	20	19	
Neumaticos Buses [miles unida]	387	388	390	391	393	393	394	396	3
Combustible Autos[miles litros]	2686609	2545558	2430800	2336608	2174200	2102944	2041930	1989806	19459
Combustible Taxis[miles litros]	35602	33588	31899	30468	25629	24388	23267	22244	213
Combustible Buses[miles litros]	675194	670092	666021	662882	660290	658247	656921	656272	6562
Reparacion Pavimento [metros]	0	0	0	8490	7730	8930	6060	25770	181

IV.5.2.4 INDICADORES ECONÓMICOS

La pantalla final permite evaluar y comparar dos escenarios, entregando sus principales indicadores.

Los indicadores se dividen en indicadores de corto plazo y de largo plazo, adicionalmente se presenta un resumen de los costos tanto de la base como del escenario.



Los indicadores existentes son:

- VAN1: Valor actualizado neto primer año.
- TRI: Tasa de retorno inmediato.
- TIR: Tasa interna de retorno.
- VAN: Valor actualizado neto.
- B/C: Relación Beneficio Costo.

IV.5.3 EJECUCIÓN DEL MEEV.

IV.5.3.1 EJECUCIÓN DE LA PRIMERA FASE.

Para poder ejecutar la primera fase del modelo de estimación de emisiones y evaluación económica se debe copiar al directorio que contiene el databank del escenario en estudio los archivos que son utilizados por la macro. Los Archivos que se debe copiar son:

- MEEV.mac
- paramemi.txt
- Zonas_MEEV.txt
- grannot.bat
- grannota.exe
- grlink.bat
- grlinka.exe
- grmacro.mac
- grparam.bat
- grparama.exe
- gsort.exe

al comienzo del archivo MEEV.mac se encuentran las principales opciones de la macro, por lo tanto si se desea cambiar alguna de las opciones se debe editar este archivo.

```
~/ date: Ver 2.02 23 dic 2002
~o=295
~/ ++++++
~/
~# Parametros de MEEV.mac:
~#
~# 1) Año (para la desagregacion vehicular), las posibilidades son:
~# 2000
~# 2007
~# 2012
~# Modificar Aquí:
~t1=2012
~# 2) Numero de iteraciones de asignacion multiclase
~t2=20
~# 3) tamaño de cuadrantes en grillas
~# (recordar cambiar tambien el tamaño de las grillas en paramemi.txt )
~t3=10
~# 4) variable a Graficar
~t4=@etd10
~# 5) Punto de inicio (partida en frio)
~r1=0
~# 6) Largo del intervalo (partida en frio)
~r3=1
~# 7) Velocidad promedio (partida en frio)
~r4=20
~# 8) Temperatura promedio (partida en frio)
~r6=14.6
~# 9) Iteraciones maximas de asignacion (partida en frio)
~r7=20
~/
```

Encabezado de macro MEEV:

Los parámetros existentes son:

- T1: Año, es usado para escoger la desagregación a utilizar.
- T2: Número de iteraciones de la Asignación multiclase utilizada en el cálculo de los flujos de automóviles y taxis.
- T3: tamaño de las grillas, este valor debe ser cambiado también en el archivo paramemi.txt
- T4: Variable a ser graficada como grilla, este valor debe ser cambiado también en el archivo paramemi.txt
- R1: punto de inicio de la partida en frío, usualmente 0
- r3: Largo de cada intervalo usado en el cálculo de partidas en frío, valor en kilómetros.
- R4: Velocidad promedio durante la partida en frío.
- R6: temperatura promedio, usada durante la partida en frío.
- R7: Número de iteraciones en cada asignación que usa el operador cutoff para el cálculo de emisiones por partida en frío.

Para ejecutar la macro simplemente se debe llamar la macro desde emme2, la macro puede demorar entre 5 a 10 minutos dependiendo del número de iteraciones escogidas para las asignaciones a realizar.

IV.5.3.2 EJECUCIÓN DE LA SEGUNDA FASE.

La segunda fase corresponde a un programa ejecutable llamado *MEEV.exe*.

Para instalar este programa se debe ejecutar el archivo *instalar.exe* que copia todos los archivos necesarios para su ejecución en el computador del usuario.