



METODOLOGIA DE ESTIMACION DE EMISIONES VEHICULARES

Departamento de Ingeniería Mecánica
Universidad de Chile





ATMOSPHERIC EMISSIONS

**Reliable air quality simulation and ambient
concentration predictions with reasonable
accuracy**

**Spatially and temporally disaggregated
emission inventory**

**Stationary
sources**

**Mobile
sources**

**Biogenic
sources**



ROAD TRAFFIC EMISSIONS ESTIMATES

Two different approaches can be distinguished in order to create a refined motor vehicle emission inventory, in particular for urban areas that face serious air quality problems:

**Microscale approach
(Bottom-up)**

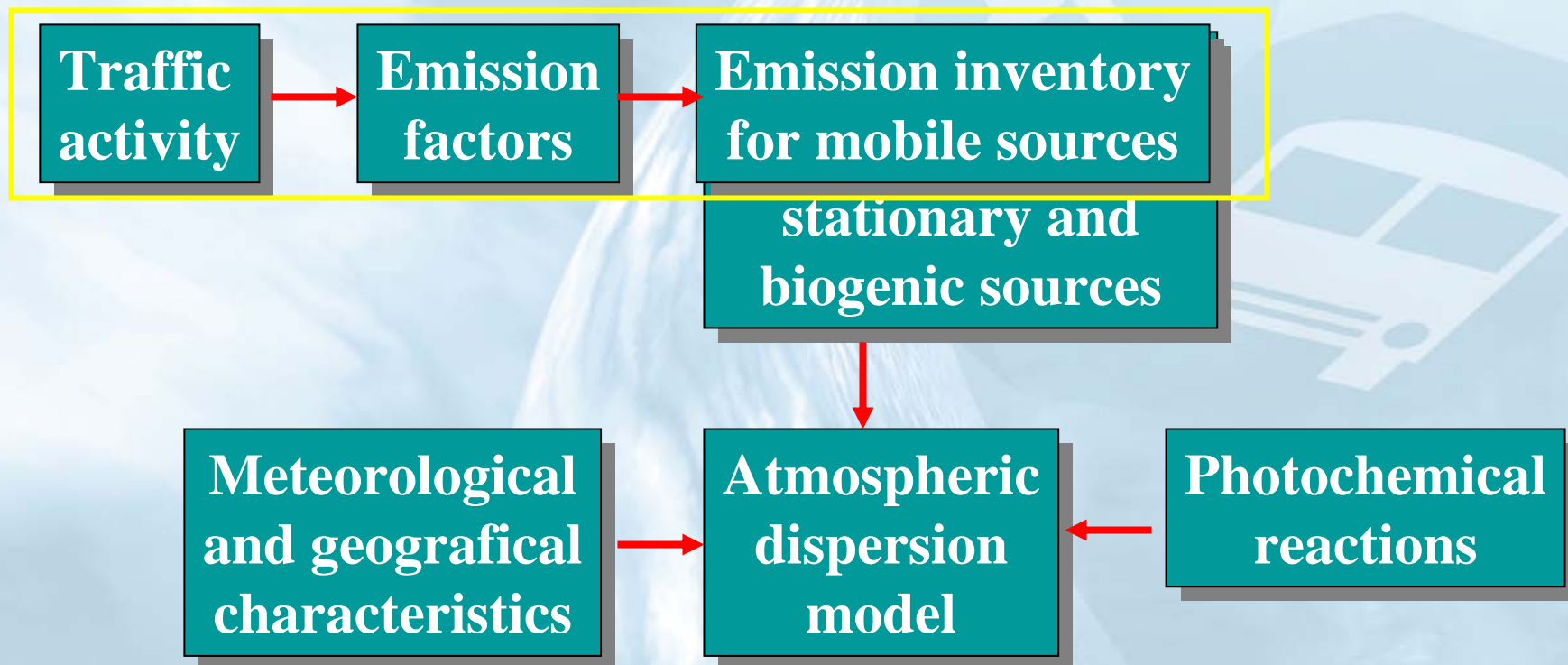


**Macroscale approach
(Top-down)**





TRAFFIC, EMISSION AND DISPERSION MODELS





MOTOR VEHICLE EMISSIONS

**Traffic
activity**

**Emission
factors**

**Emission inventory
for mobile sources**

Transport model

Total vehicle

Local average

Real data collection

Total vehicle

Fleet composition

Real-time speed

Traffic network

Digitised road

GIS support

Emission models

$E_{\text{total}} = E_{\text{hot}} +$

$E_{\text{evaporative}} =$

Speed dependent

Experimental emission

Speed and acceleration

Fuel composition

Mileage dependent

Others

Gradient effect

Airports and

85 pollutants

8 gases and PM_{10}

7 metals

68 VOCs (7 families)

16 vehicle types

Petrol and diesel

Light, medium and heavy duty

Conventional and catalytic cars

Passenger, commercial and public

Spatially and temporally disaggregated

Emissions by road and sectors

Emissions per day, week, year



Seminario
***“Transporte, Energía,
Salud y Medioambiente”***
24-25 de Abril 2003

MODELO DE EMISIONES VEHICULARES - MODEM

Mauricio Osses
Departamento de Ingeniería Mecánica
Universidad de Chile
E-mail: maosses@ing.uchile.cl



¿Qué es MODEM?

- **MODEM**: **MOD**elo de **EM**isiones vehiculares
- **MODEM** es un software especializado que permite calcular las emisiones de contaminantes atmosféricos generados por actividad vehicular en zonas urbanas.
- El cálculo se realiza a partir de información vial generada por modelos de transporte, la cual se combina con factores de emisión, obteniéndose altos niveles de desagregación espacial y temporal.
- **MODEM** ha sido desarrollado en un período de 6 años, a través de estudios conjuntos entre CONAMA, CENMA, MTT-3CV, SECTRA, DICTUC y la Universidad de Chile.



Debido al alto grado de responsabilidad del sector transporte en el nivel de emisiones de contaminantes atmosféricos, existentes en ciudades como Santiago, se ha hecho imperativo contar con herramientas o modelos que estimen el nivel de emisiones asociados a la actividad vehicular



Metodología base de cálculo

$$ET = E_{he} + E_{cs} + E_{ev}$$

hot exhaust emissions
cold start emissions
evaporative emissions

↓

$$E_{he} = NA \times FE \times FC$$



Nivel de Actividad Vehicular
Factores de Emisión
Factores de Corrección



Estimación de emisiones vehiculares

$$E_{ijk} = FE_{ik} * FT_j * C_{kj} * L_j$$

E_{ijk} : Emisión total del contaminante i , en el arco j , para la categoría vehicular k

FE_{ik} :Factor de emisión contaminante i para la categoría k [gr/km]

← $f(v,a)$

FT_j :Flujo vehicular total en el arco j a la hora evaluada [veh/hr]

← $f(t)$

C_{kj} :Composición o fracción del flujo total de la categoría k en el arco j [%]

← $f(t)$

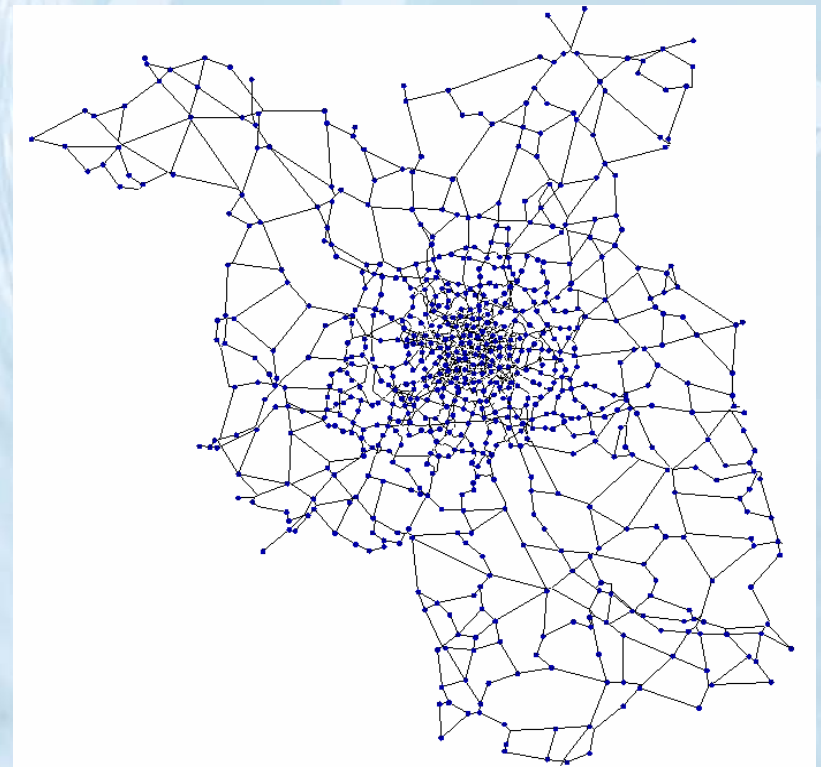
L_j :Largo del arco j [km]



$$E = NA \times FE \times FC$$

Nivel de actividad vehicular

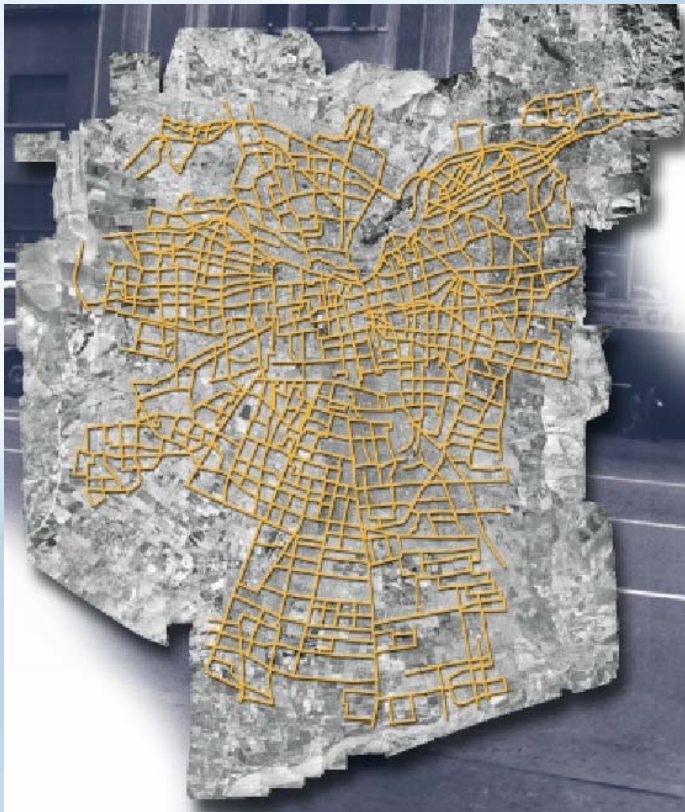
- Flujo vehicular total
- Tiempo de viaje
- Composición vehicular
- Topología red vial





$$E = NA \times FE \times FC$$

Flujo vehicular total y tiempo de viaje (velocidad)



ESTRAUS: used for strategic planning with an urban road network, built on 4 main stages:

Trip generation/attraction

Trip distribution

Modal choice/split

Trip assignment

ESTRAUS covers two main periods:

Morning peak-hour (07:30-08:30)

Inter-peak hour (10:30-11:30).

It can simulate entire urban domains, but still it does not contain all the information needed for the compilation of a complete inventory of emissions.

Main outputs for emission estimation:

Traffic volume (fix and variable flow)

Travel time (variable flow)



$$E = NA \times FE \times FC$$

Composición y flujos vehiculares



Conteos manuales en distintas ciudades y análisis estadístico de bases de datos (INE, PRT) → 40 tipos de vehículos en MODEM

Flujos vehiculares obtenidos con estaciones automáticas de conteo

$$E = NA \times FE \times FC$$

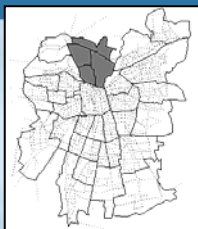


Categorías Flujo Variable	2000	2005
Vehículos Particulares Catalíticos Tipo 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Vehículos Particulares Catalíticos Tipo 2		<input checked="" type="checkbox"/>
Vehículos Particulares No Catalíticos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Vehículos Particulares Gas		
Vehículos Particulares Otros		
Vehículos de Alquiler Catalíticos Tipo 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Vehículos de Alquiler Catalíticos Tipo 2		<input checked="" type="checkbox"/>
Vehículos de Alquiler No Catalíticos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Vehículos de Alquiler Gas		
Vehículos de Alquiler Otros		
Vehículos Comerciales Catalíticos Tipo 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Vehículos Comerciales Catalíticos Tipo 2		<input checked="" type="checkbox"/>
Vehículos Comerciales No Catalíticos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Vehículos Comerciales Diesel Tipo 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Vehículos Comerciales Diesel Tipo 2		<input checked="" type="checkbox"/>
Vehículos Comerciales Gas		
Vehículos Comerciales Otros		
Buses particulares	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Camiones Livianos Diesel Tipo 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Camiones Livianos Diesel Tipo 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Camiones Livianos Diesel Tipo 3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Camiones Livianos Diesel Convencional		<input checked="" type="checkbox"/>
Camiones Livianos Gas		
Camiones Livianos Otros		
Camiones Medianos Diesel Tipo 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Camiones Medianos Diesel Tipo 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Camiones Medianos Diesel Tipo 3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Camiones Medianos Diesel Convencional		<input checked="" type="checkbox"/>
Camiones Medianos Gas		
Camiones Medianos Otros		
Motos de Dos Tiempos Tipo 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Motos de Dos Tiempos Tipo 2		<input checked="" type="checkbox"/>
Motos de Cuatro Tiempos Tipo 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Motos de Cuatro Tiempos Tipo 2		<input checked="" type="checkbox"/>
Total Flujo Variable	16	24

Tipo de flujo	Composición 2000	2000	2005
Flujo Fijo Buses Licitados	Buses Licitados Urbanos Diesel Tipo 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Buses Licitados Urbanos Diesel Tipo 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Buses Licitados Urbanos Diesel Tipo 3		<input checked="" type="checkbox"/>
	Buses Licitados Urbanos Diesel Conv.	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Buses Licitados Urbanos Híbridos		
	Buses Licitados Urbanos Gas		
	Buses Licitados Urbanos Otros		
Flujo Fijo Camiones Pesados	Camiones Pesados Diesel Tipo 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Camiones Pesados Diesel Tipo 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Camiones Pesados Diesel Tipo 3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Camiones Pesados Diesel Convencional		<input checked="" type="checkbox"/>
	Camiones Pesados Otros		
Flujo Fijo Taxis Colectivos	Taxis Colectivos Catalíticos Tipo 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Taxis Colectivos Catalíticos Tipo 2		<input checked="" type="checkbox"/>
	Taxis Colectivos No Catalíticos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Taxis Colectivos Gas		
	Taxis Colectivos otros		
Flujo Fijo Buses Interurbanos y Rurales	Buses Interurbanos Diesel Tipo 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Buses Interurbanos Diesel Tipo 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Buses Interurbanos Diesel Tipo 3		<input checked="" type="checkbox"/>
	Buses Interurbanos Diesel Convencional	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Buses Interurbanos Otros		
	Buses Rurales Diesel Tipo 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Buses Rurales Diesel Tipo 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Buses Rurales Diesel Tipo 3		<input checked="" type="checkbox"/>
	Buses Rurales Diesel Convencional	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Buses Rurales Otros		
Total Flujo Fijo		14	18
Total Flujo Variable + Flujo Fijo		30	42



Sector 1
Providencia
Vitacura
Las Condes
Lo Barnechea



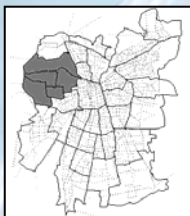
Sector 4
Huechuraba
Recoleta
Independencia
Conchalí



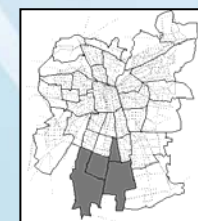
Sector 7
San Miguel
San Joaquín
La Cisterna
La Granja



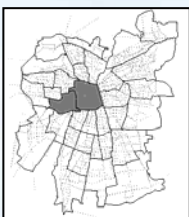
Sector 2
Ñuñoa
La Reina
Macul
Peñalolén



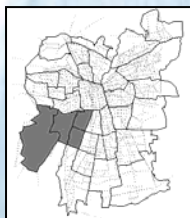
Sector 5
Renca
Quinta Normal
Cerro Navia
Lo Prado
Pudahuel
Quilicura



Sector 8
San Ramón
La Pintana
El Bosque
San Bernardo



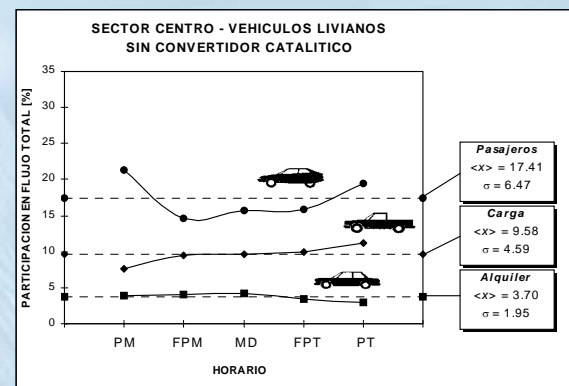
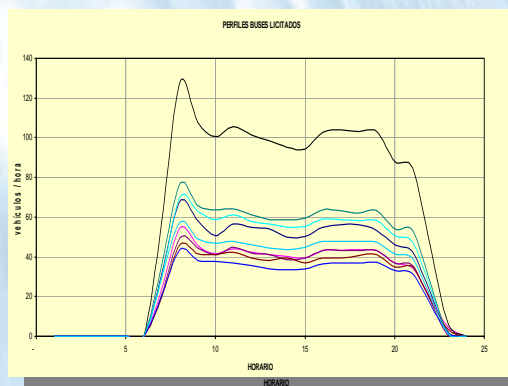
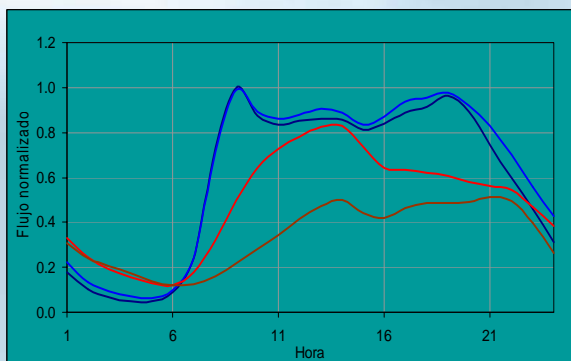
Sector 3
Santiago
Estación Central



Sector 6
Maipú
Cerrillos
Lo Espejo
Pedro Aguirre Cerda



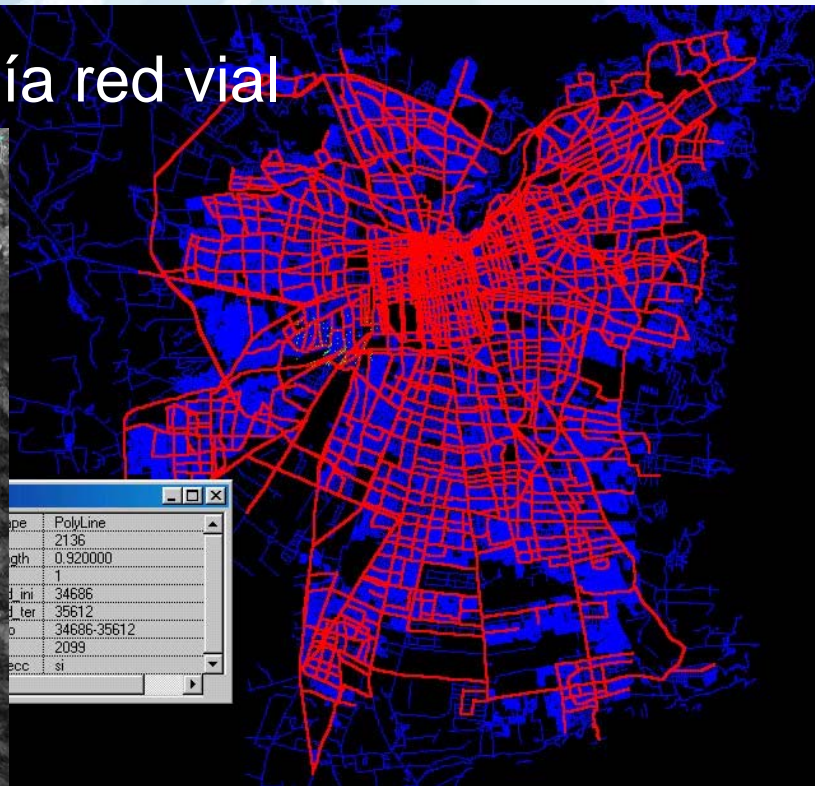
Sector 9
La Florida
Puente Alto





$$E = NA \times FE \times FC$$

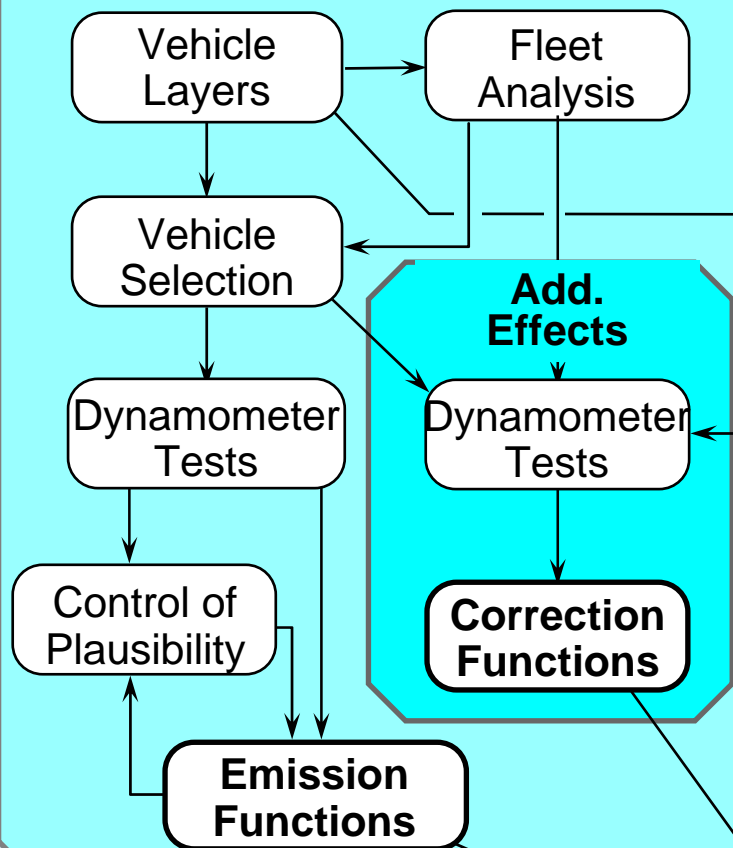
Topología red vial



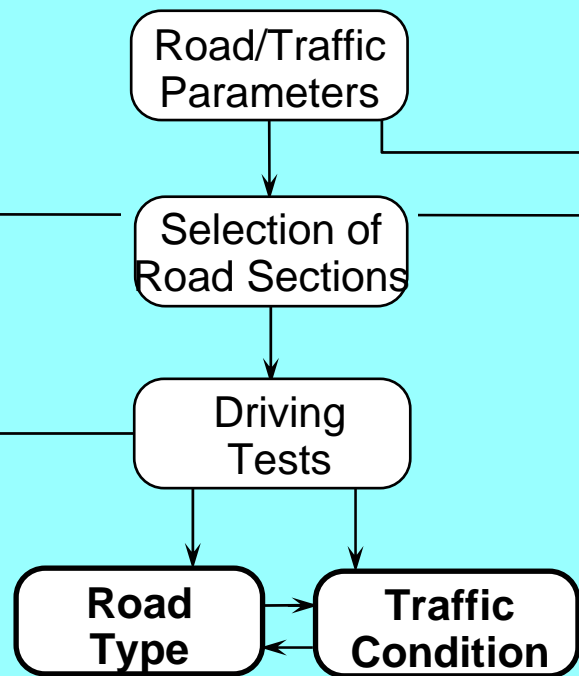
1997: 7950 arcos, 409 zonas
2005: 9500 arcos, 563 zonas



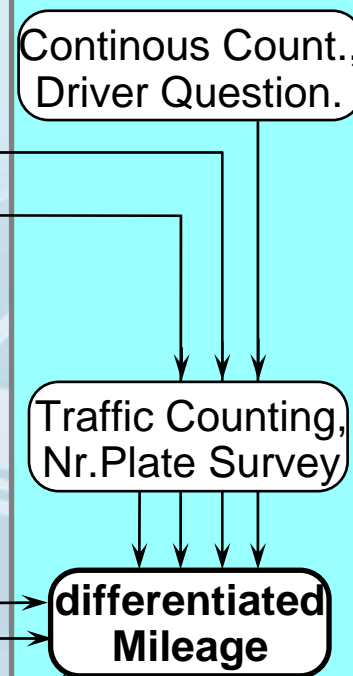
Emission Behaviour



Driving Behaviour



Mileage



Emission Inventory

Emission Factors

Total Emission LDV and HDV



Generation of Data

Emission Factors

Mileage

Traffic Data

Traffic Structure

Auxiliary Data

Processing of the Data Base

- Parameter definition and differentiation
- Data base definition
- Development of methodologies
 - ↳ Cold Start
 - ↳ Evaporation
 - ↳ Projection of traffic data
 - ↳ geografic / time scale resolution

Application

National and local environmental politics

Standard of Immission Protection

Construction of Traffic Plans

Environmental Assessment Studies

Maintenance and Update

differentiate
data according to
necessities

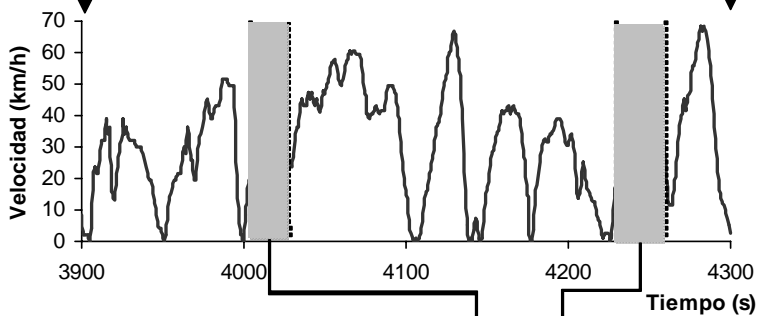
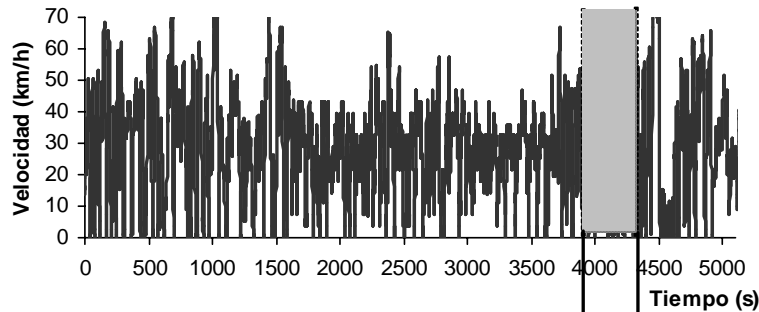
integrate
data bases and
methodologies

harmonize
further fields of
application

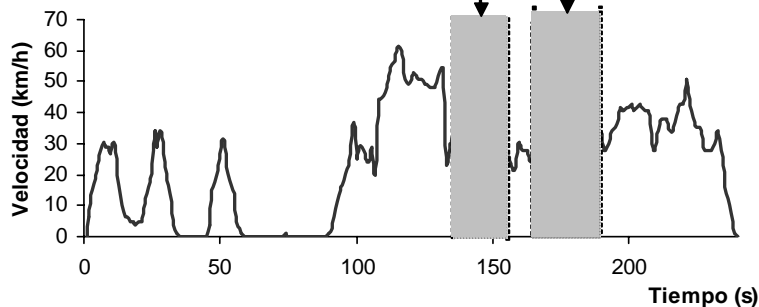


$$E = NA \times FE \times FC$$

Curva de Operación

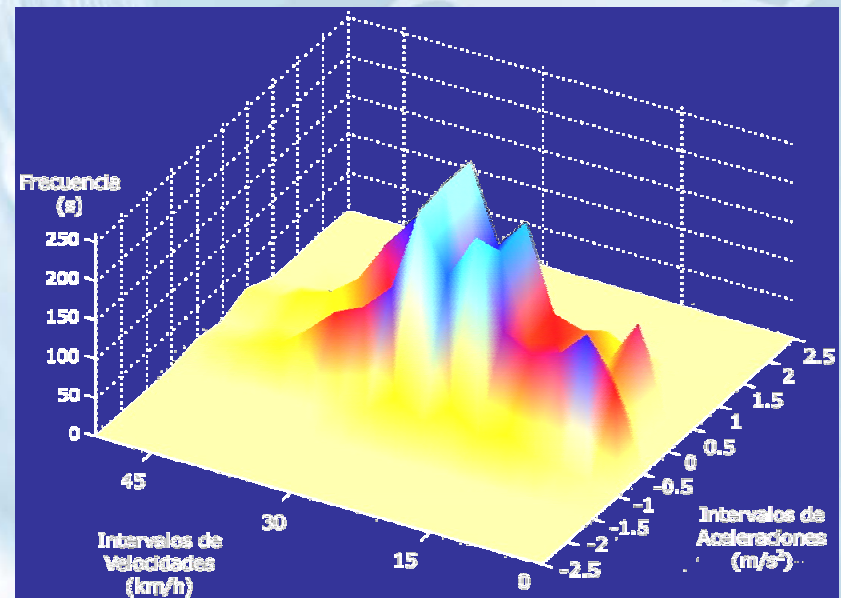


Ciclo CAS30



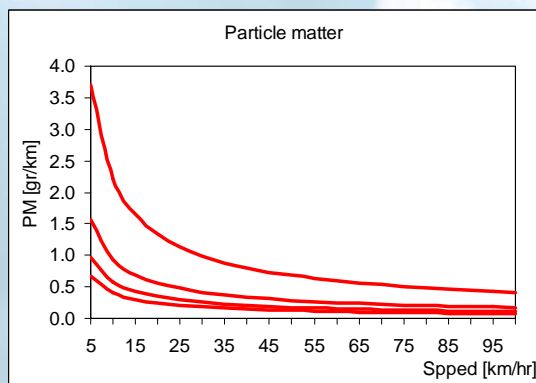
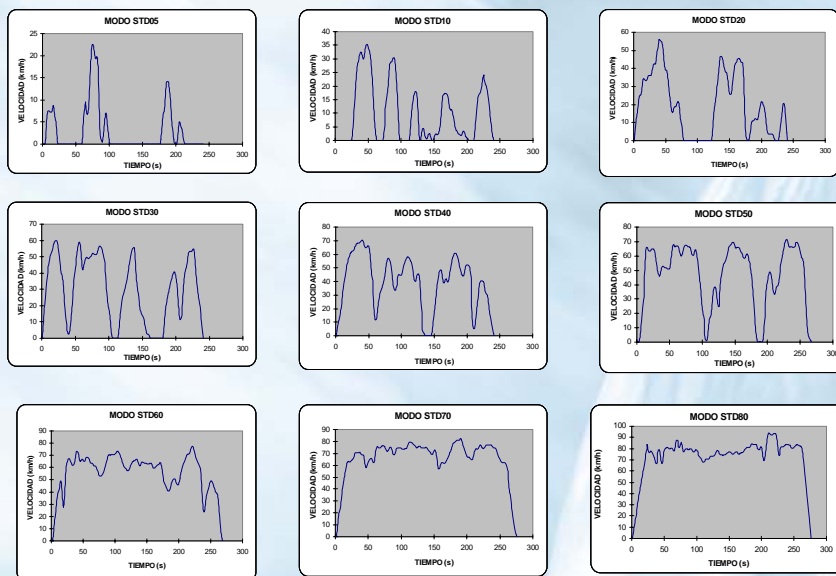
Los ciclos de conducción se generan a partir de información en terreno, recolectando curvas velocidad-tiempo.

A partir de la información real, se construyen ciclos más cortos que representen todas las variables de la dinámica de conducción.



$$E = NA \times FE \times FC$$

2000 ensayos
180 vehículos (gasolina)
12 ciclos de conducción
CO, HC, NOx

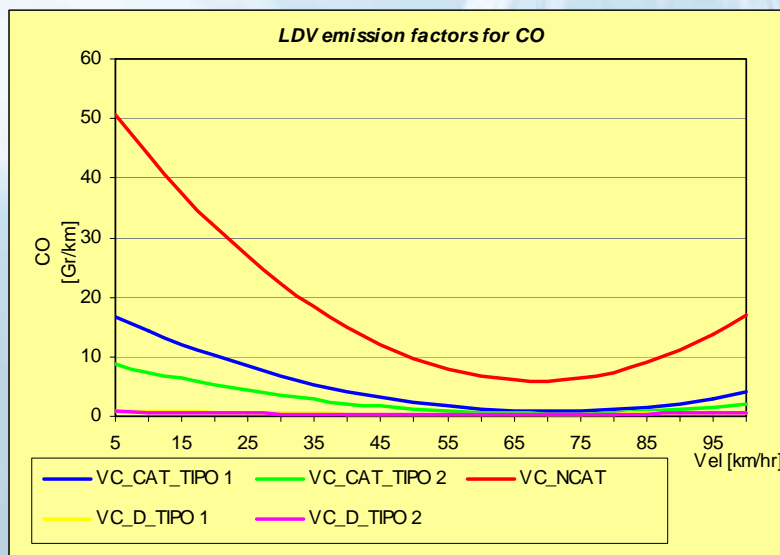


PM	<input type="text"/>	CO2	<input type="text"/>
HC	<input type="text"/>	CH4	<input type="text"/>
CO	<input type="text"/>	NH3	<input type="text"/>
NO	<input type="text"/>	N2O	<input type="text"/>

$$E = NA \times FE \times FC$$



		CO [g/km]
LDV TWC EURO 1		$0.0037 V^2 - 0.5215 V + 19.127$
LDV TWC EURO 2		$0.001924 V^2 - 0.27118 V + 9.94604$
LDV conventional		$0.01104 V^2 - 1.5132 V + 57.789$
LDV Diesel EURO 1		$0.000223 V^2 - 0.026 V + 1.076$
LDV Diesel EURO 2		$0.00018286 V^2 - 0.02132 V + 0.88232$



6 local pollutants

PM, CO, VOC, NO_x, SO₂, NH₃

42 vehicle categories

278 EF curves

NMVOC components:

Aromatics

Ketones

Alkanes

Cycloalkanes

Alkenes

Alkynes

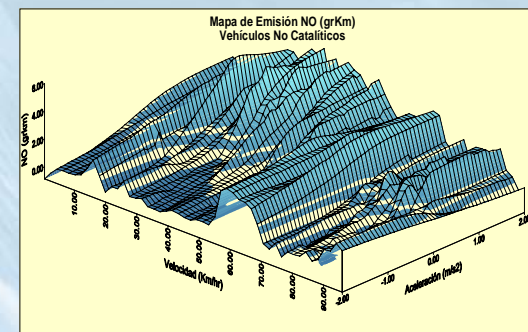
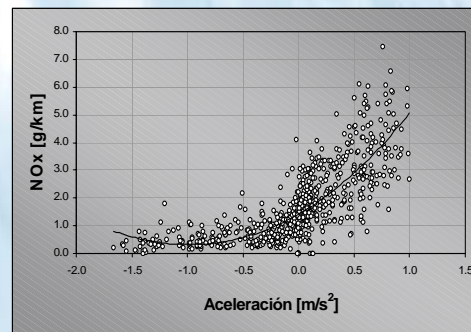
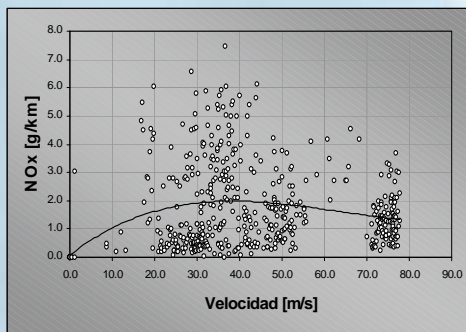
Aldehydes

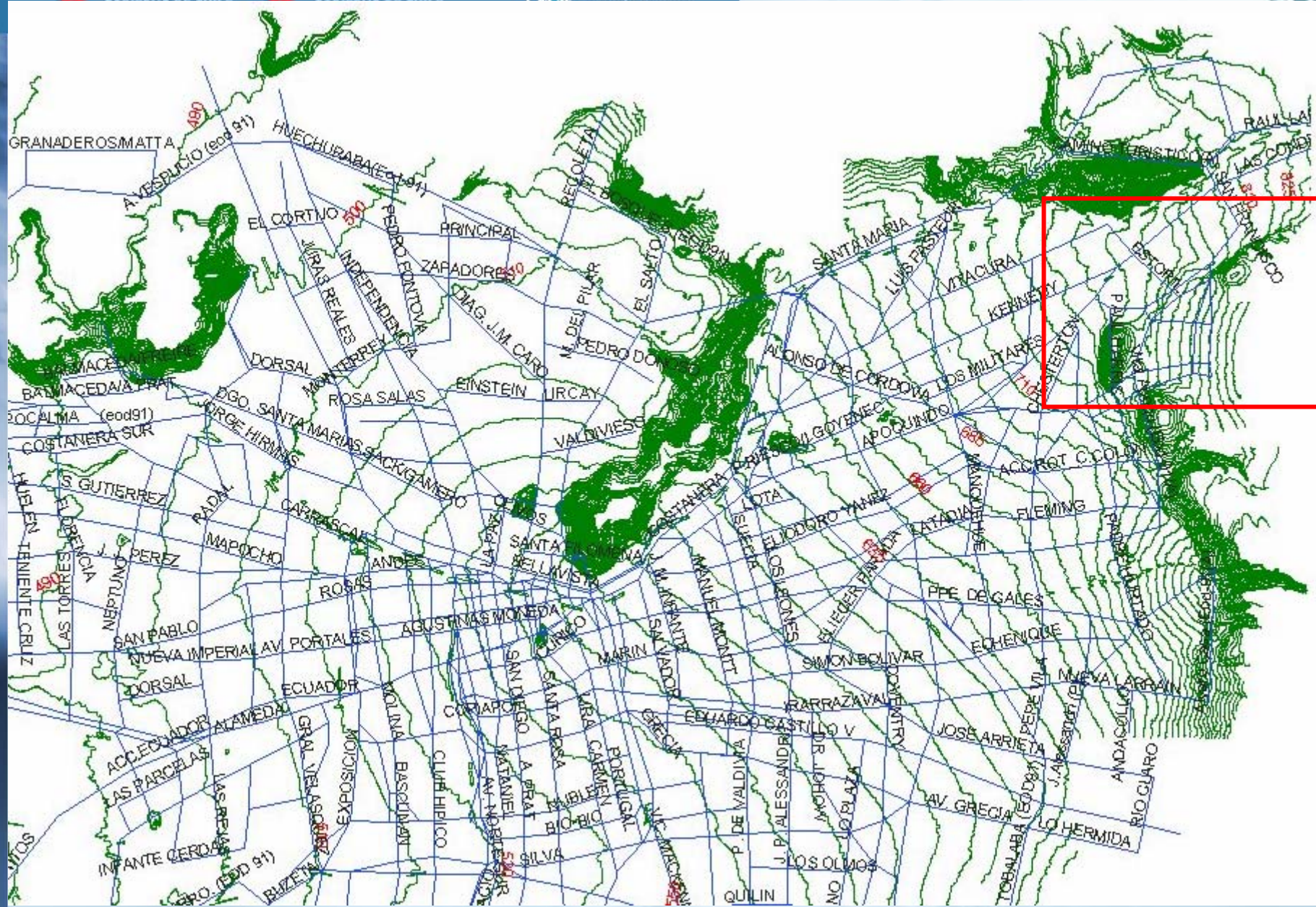
Dioxins & Furans

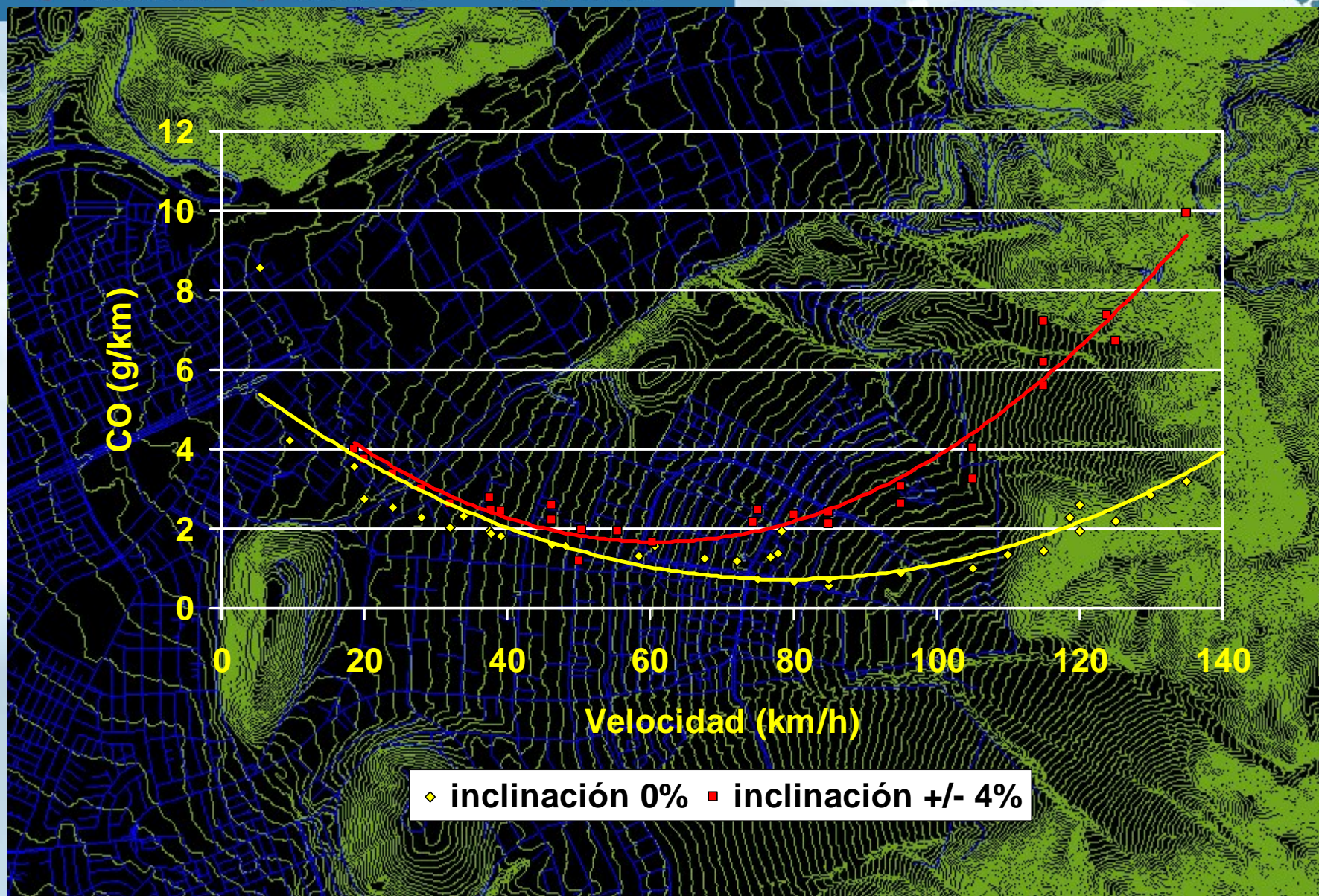
$$E = NA \times FE \times FC$$



- **FEs en función de la velocidad media de recorrido**
- **Corrección por la aceleración media positiva (AMP)**
- **Emisiones en caliente y por partida en frío**
- **Emisiones evaporativas (hot soak, diurnal, running losses)**
- **Efecto de la inclinación o pendiente**
- **Deterioro, mantención, fiscalización**
- **Calidad de los combustibles**
- **Hábitos de conducción**
- **Otros (altura, clima, etc)**







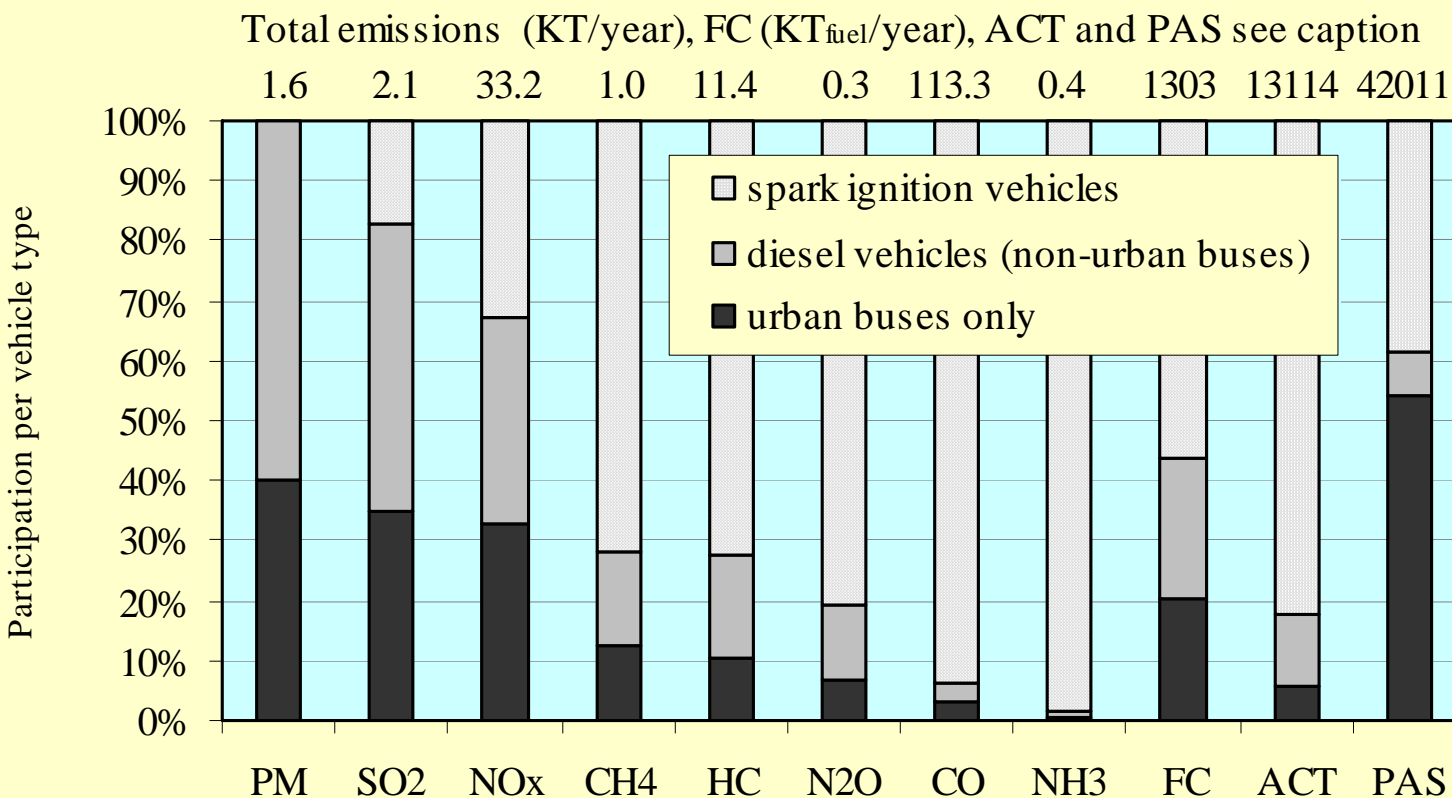


Aplicación de MODEM

- Santiago
- Ciudades intermedias
- Modelos de dispersión
- Evaluación económica-ambiental



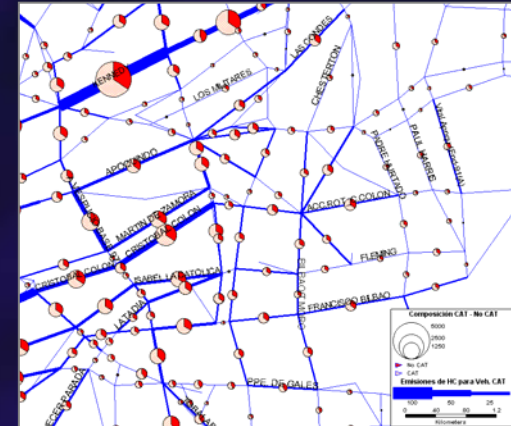
Aplicación de MODEM: Santiago



Aplicación de MODEM: Santiago

Información disponible para cada arco de la red vial

349108.8 , 6298368



HVM.3

Arco Grilla Gral

Máximo 30 X1 344490.1

Promed. 15 Y1 6300394

Mínimo 0 X2 349148.8

Y2 6295408

☐ Fije coordenadas

☐ Sin graficar el 0 % menor

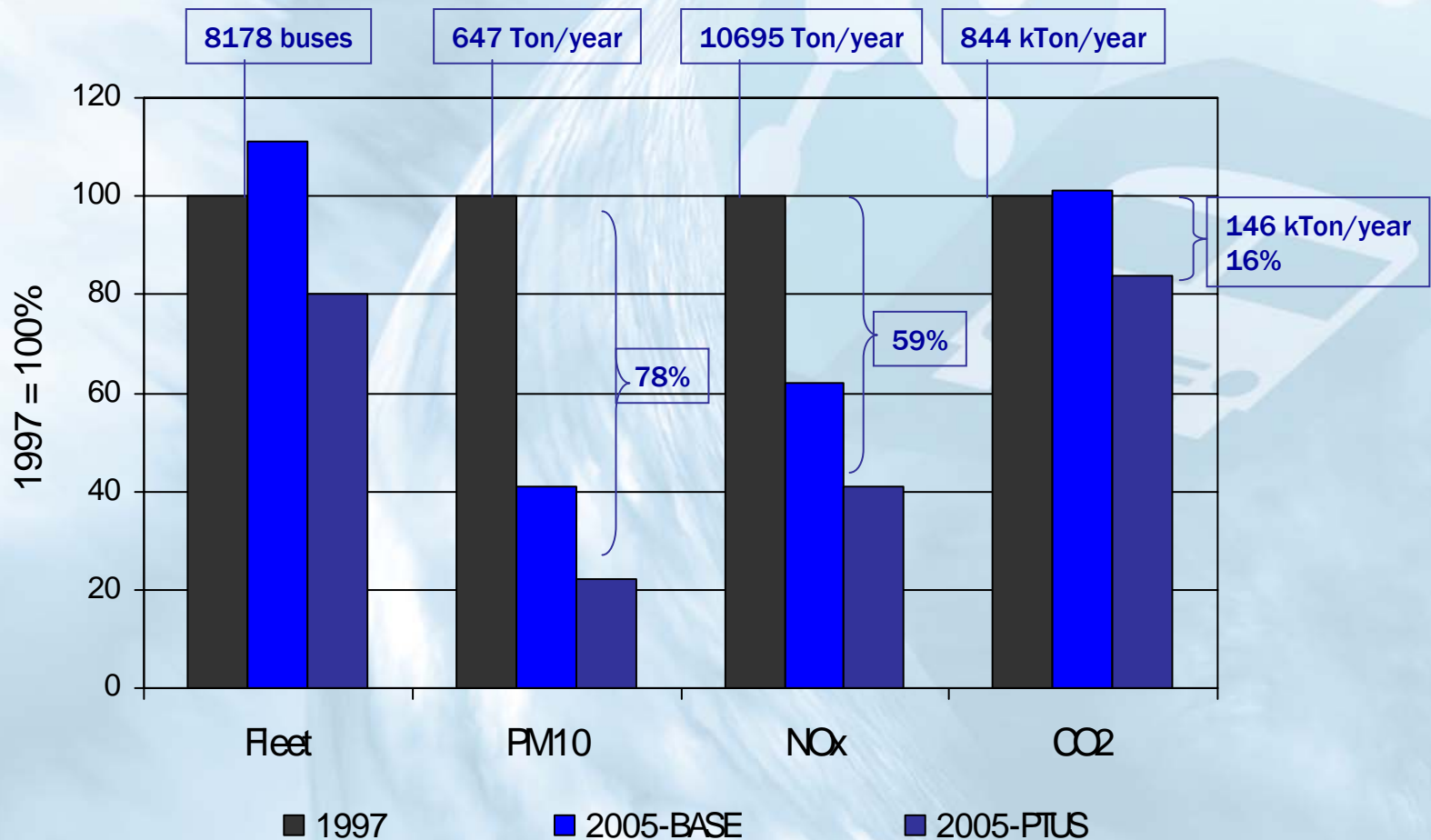
Máximo 30

Promed. 15

Mínimo 0

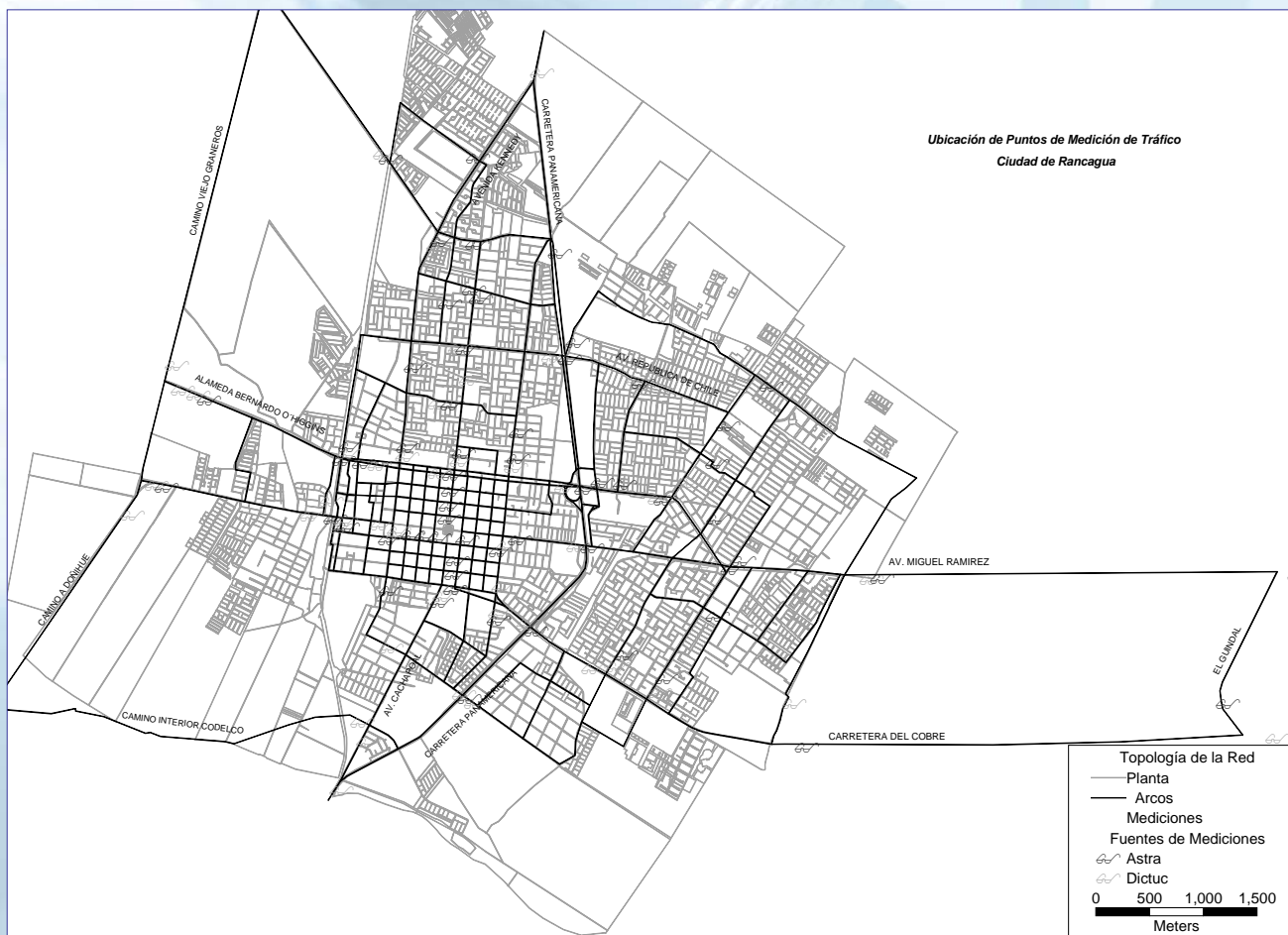


Aplicación de MODEM: PTUS



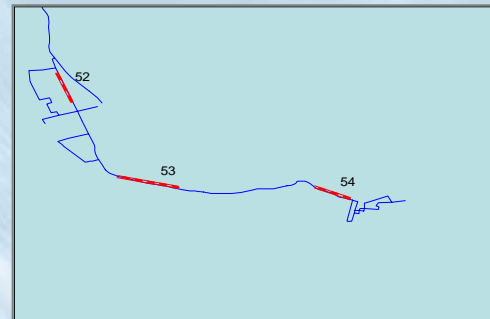
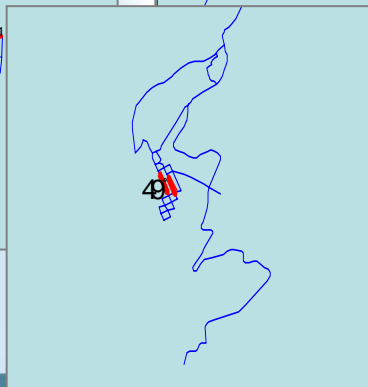
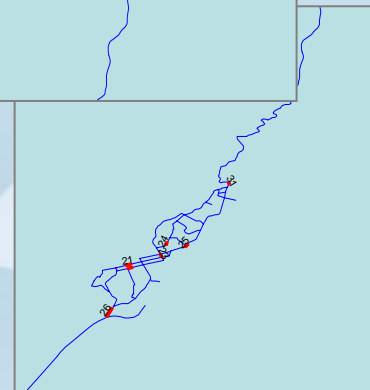
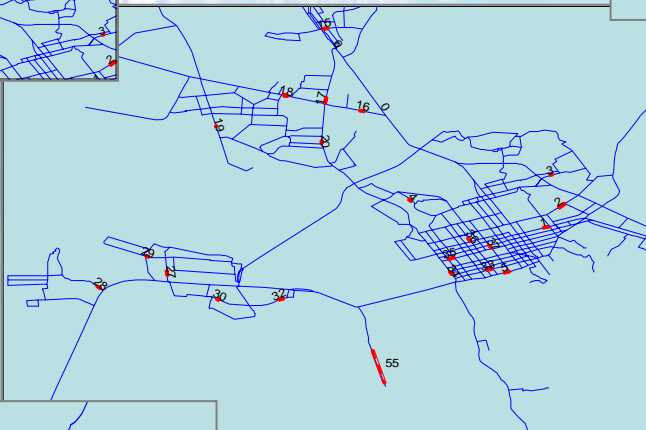
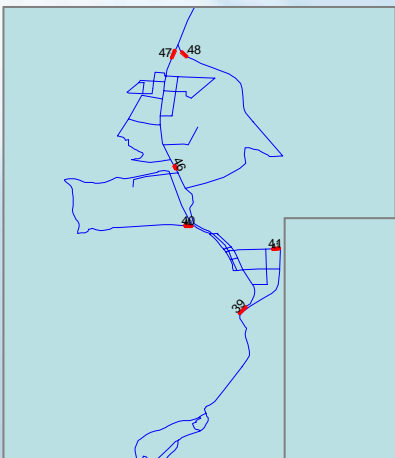
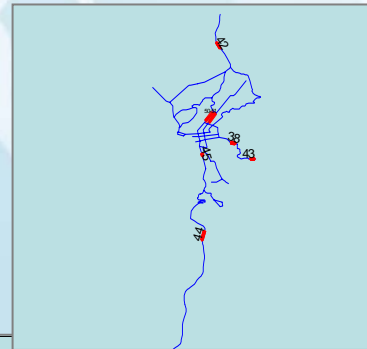
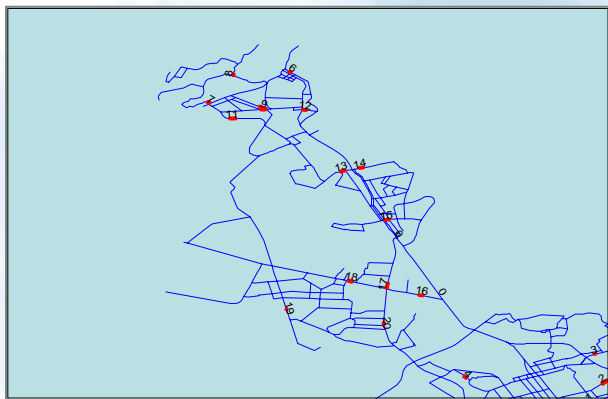


Aplicación de MODEM: Rancagua

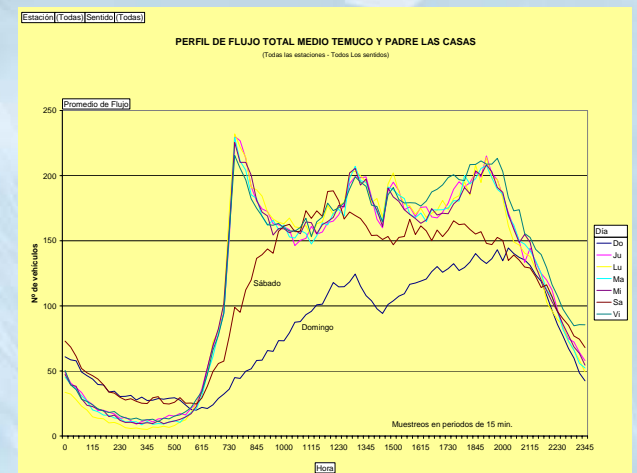
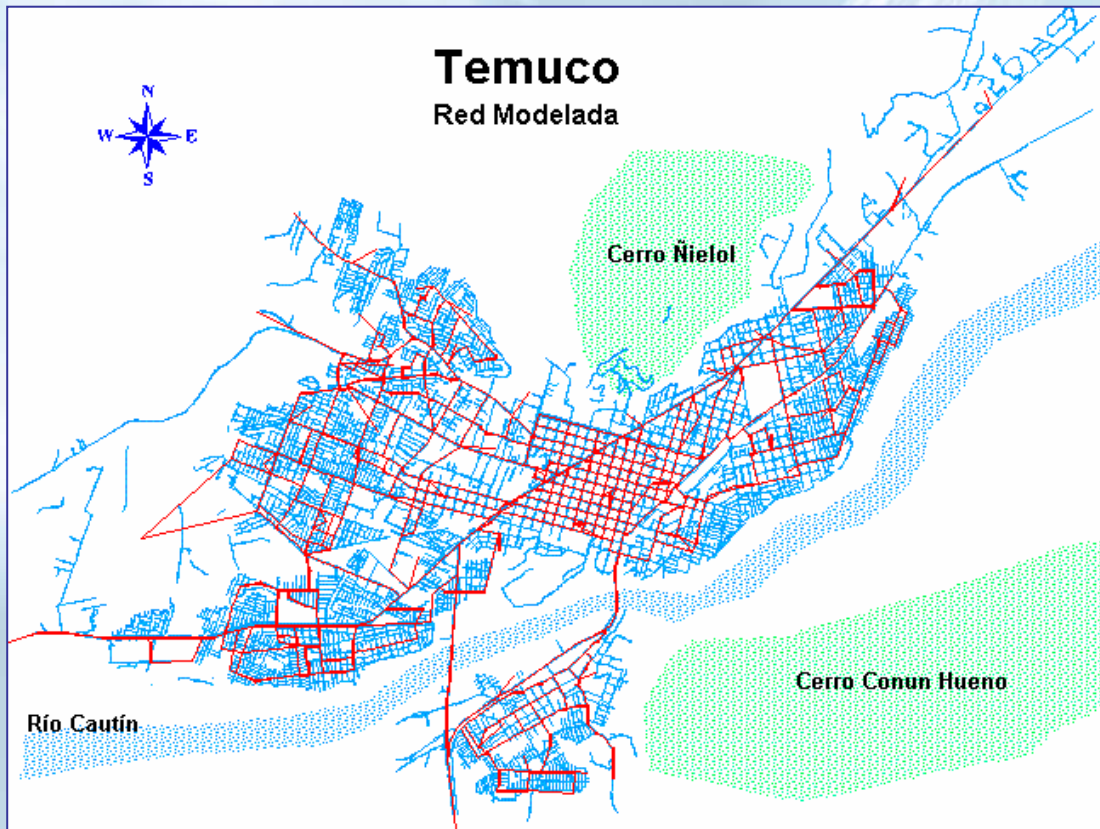




Aplicación de MODEM: Gran Concepción



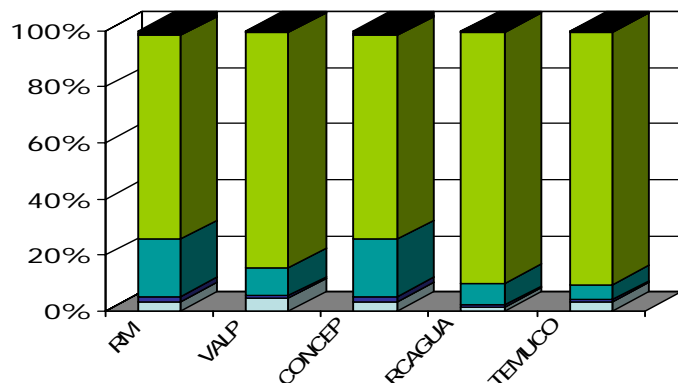
Aplicación de MODEM: Temuco



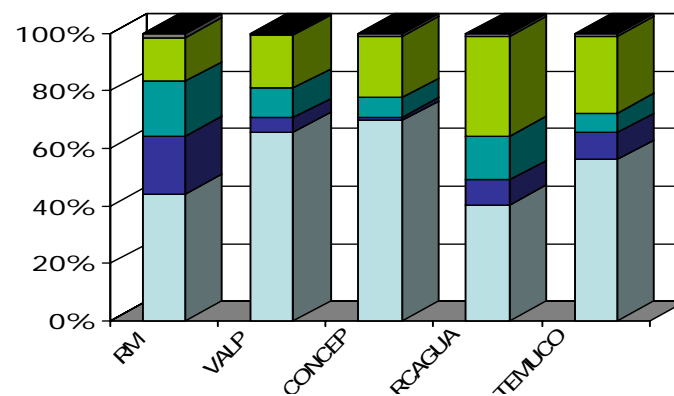


Aplicación de MODEM

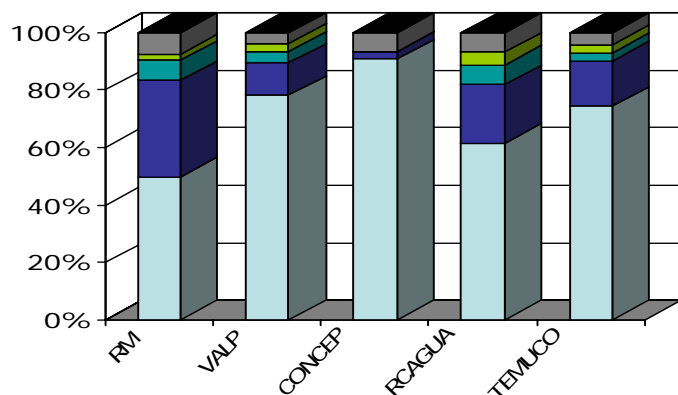
EMISIONES DE CO [ton/año]



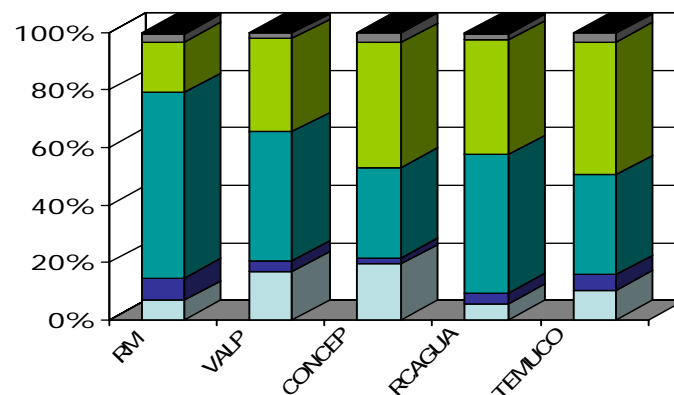
EMISIONES DE NOx [ton/año]



EMISIONES DE MP [ton/año]



NIVEL ACTIVIDAD [veh-km/año]



BUSES

CAMIONES

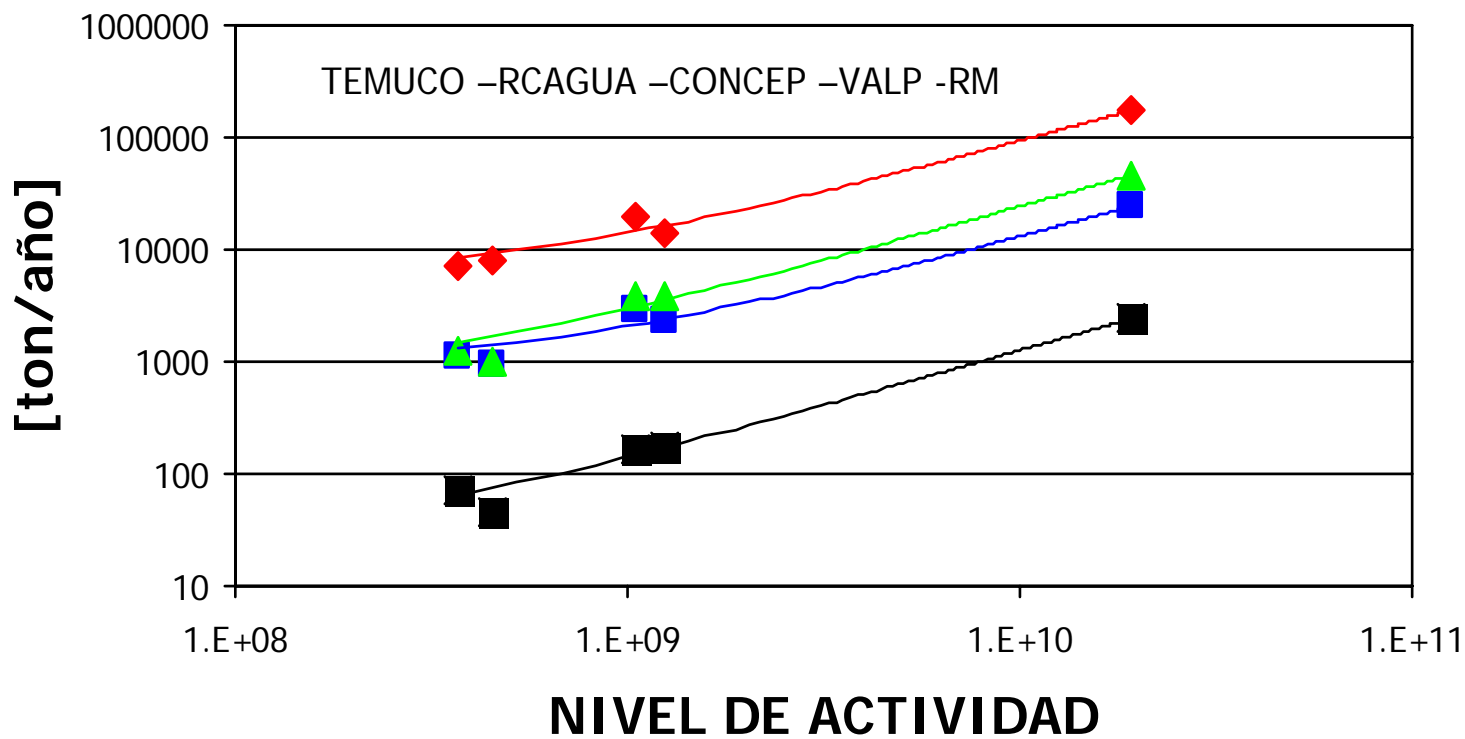
LIV NO CAT

LIV CAT-P

LIV CAT-C



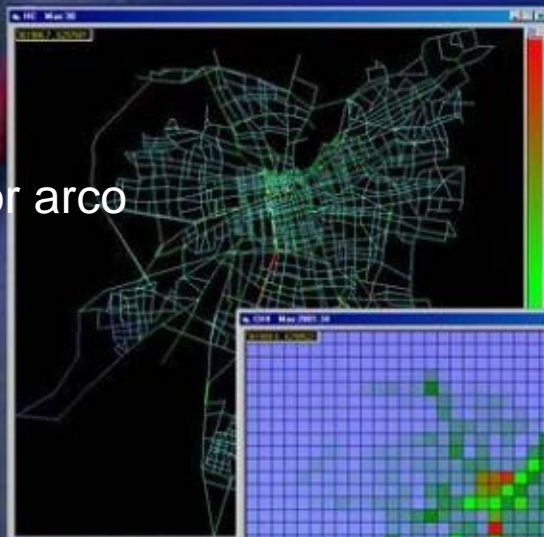
TENDENCIA EMISIONES



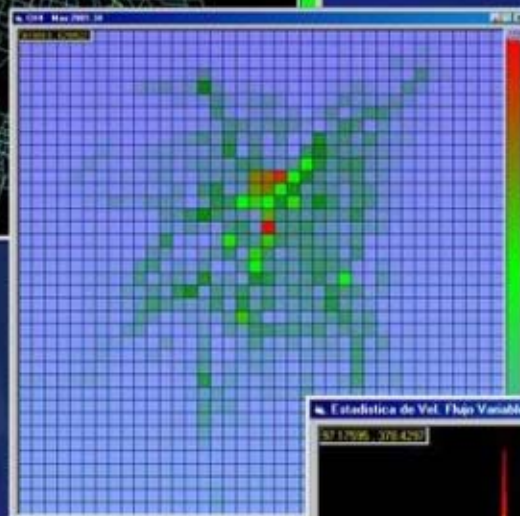
◆ CO ■ HC ▲ NOx ■ MP

Aplicación de MODEM: modelos de dispersión

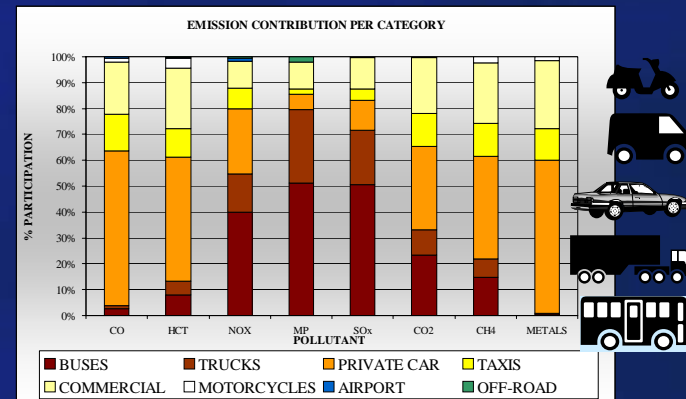
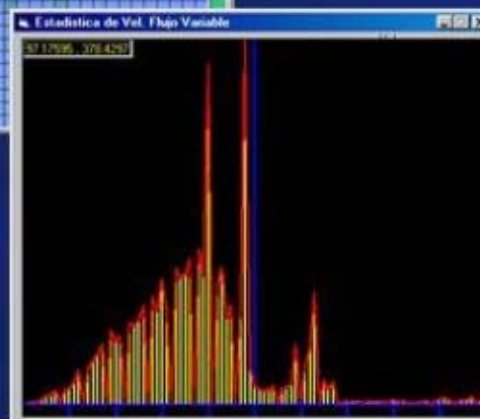
Emisiones por arco



Emisiones por grilla



Análisis estadístico

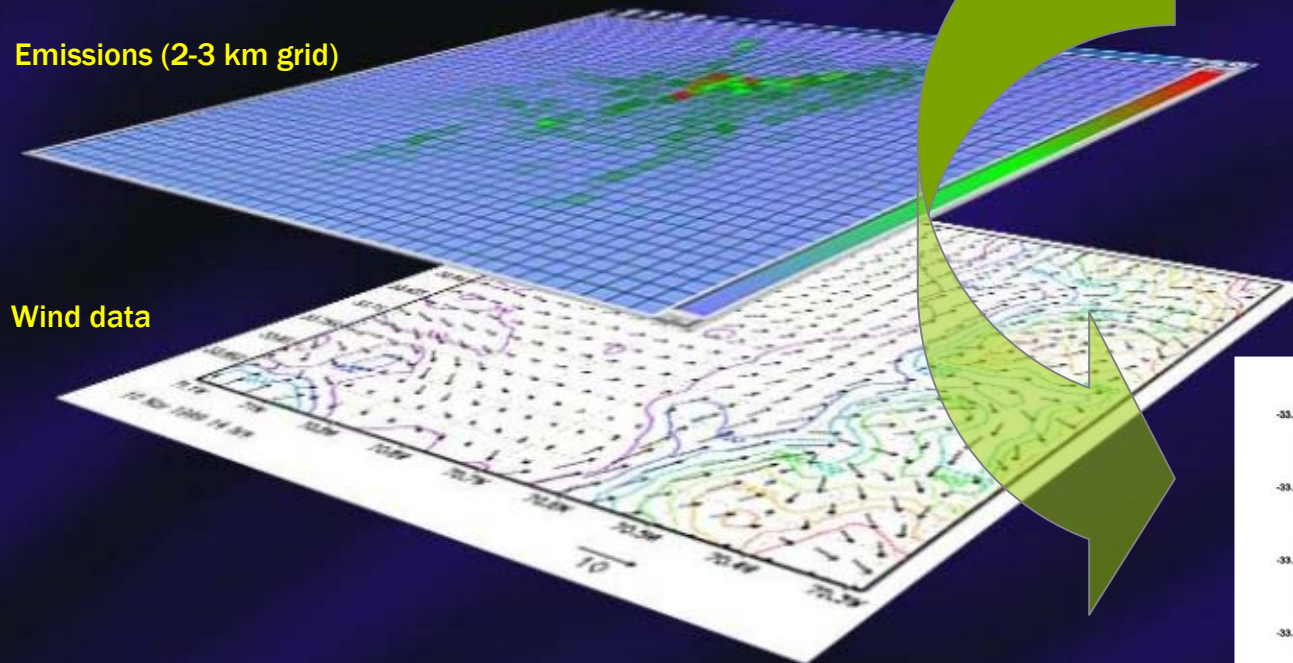


La información puede ser entregada de varias formas, de acuerdo a las necesidades del usuario (resolución espacial y temporal).

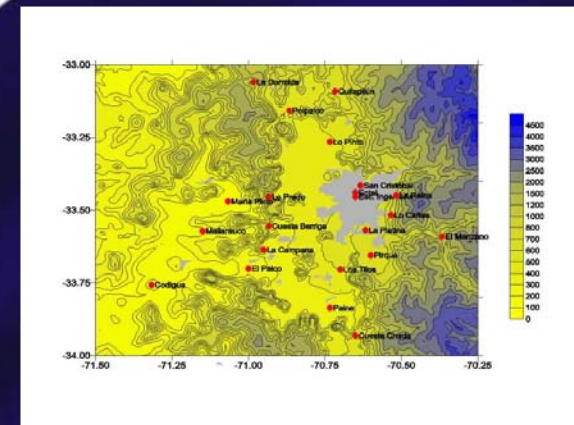
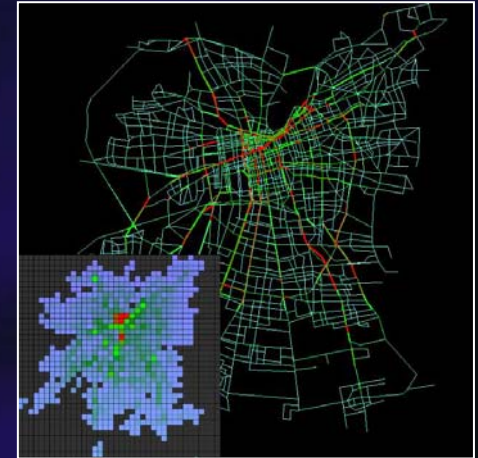
Conclusiones: emisiones y modelos de dispersión

Emissions from both mobile and stationary sources are an important input for dispersion modeling. Statistical data from monitoring stations can be used for validation of the data (e.g. CO within urban areas).

Emissions (2-3 km grid)

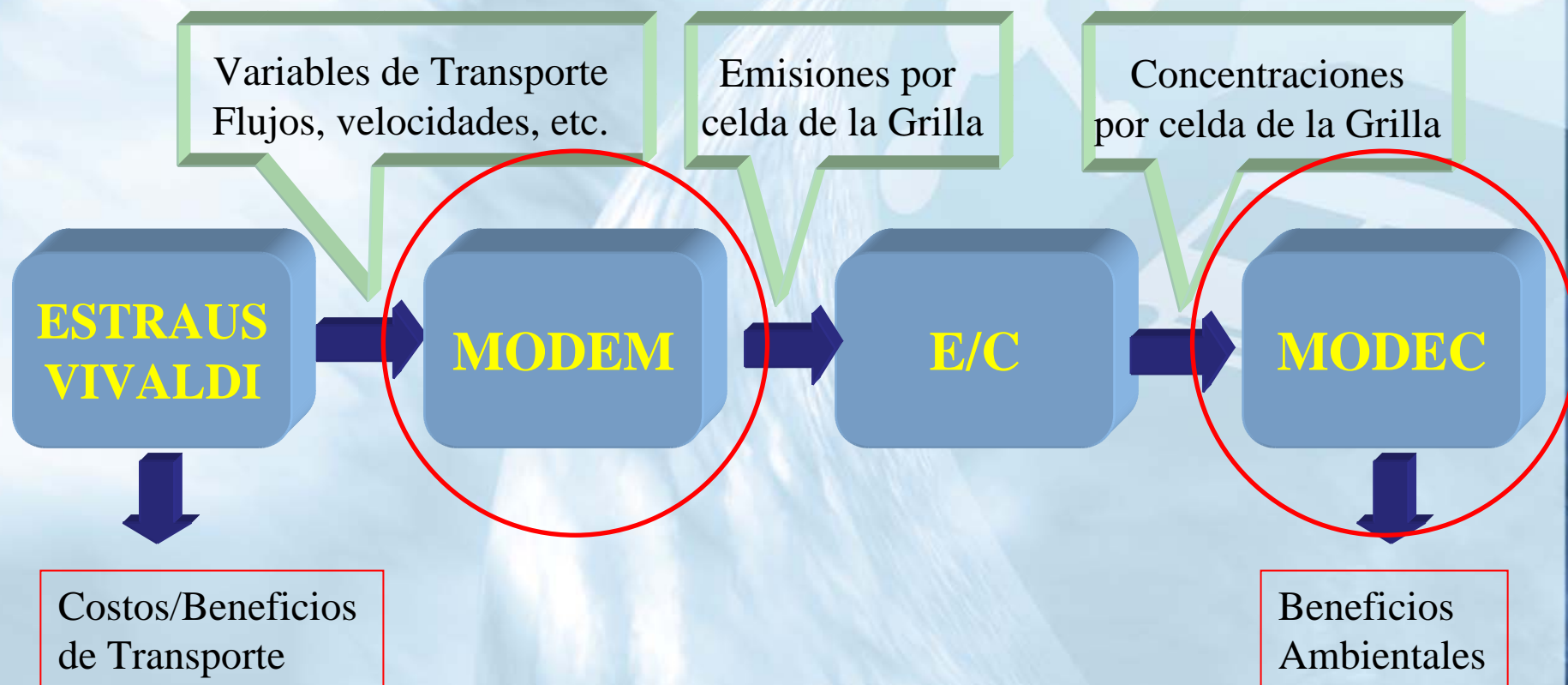


Wind data





Conclusiones: metodología MODEC





Futuras aplicaciones

- Generar inventarios para todas las ciudades intermedias del país (PACIN)
- Interacción con modelos de dispersión primarios y fotoquímicos (PUC, DGF, CMM)
- Interacción con otras herramientas de SECTRA (MUSSA, MODEC, AARTE)
- Aplicación en otros países, en combinación con modelos internacionales (IVE)