



# EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DEL SECTOR TRANSPORTE EN ARGENTINA

Noviembre 2014

Enrique Puliafito<sup>1,2</sup>, David Allende<sup>1</sup>, Sebastián Pinto<sup>2</sup>, Ariel Werner<sup>2</sup>,  
Paula Castesana<sup>2</sup>

1- Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional / CONICET

2- Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional

---

# EMISIONES DEL SECTOR TRANSPORTE

- INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA
  - INVENTARIO CON MÚLTIPLES ESCALAS: TEMPORAL Y ESPACIAL.
  - EVOLUCIÓN HISTÓRICA Y OPCIONES DE MITIGACIÓN
  - ATLAS o MAPA DE EMISIONES
  - IMPACTO EN LA CALIDAD DEL AIRE
  - CONCLUSIONES
-

---

# **Introducción:**

## **Problemas asociados al sector transporte**

- Rápida urbanización y motorización.
  - Incremento de la congestión, contaminación del aire y aumento de accidentes.
  - Exclusión social, por falta de acceso a las zonas de trabajo.
  - Falta de prioridad al transporte público y no motorizado.
  - Ineficiencias en los servicios de transporte masivo.
  - Mal uso y deterioro del suelo y el espacio público.
  - Impacto local e impacto global.
-

---

## Estimación de las emisiones de carbono.

### Principales indicadores

$$C = P \times (G/P) \times (E/G) \times (C/E)$$

Emisiones = Población x Riqueza x Intensidad x Eficiencia

P: Población (Mill. hab)

G: PBI (Mill. U\$S)

E: Consumo de energía primaria (TJ)

C: Emisiones de carbono (Gg)

---

# Emisiones totales netas anuales de Argentina de GEI para los años 1990, 1994, 1997 y 2000

| a) Gg CO2 eq   | 1990           | 1994           | 1997           | 2000           |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Energía        | 30.296         | 32.537         | 36.609         | 36.362         |
| Industrial     | 12.986         | 15.275         | 17.445         | 15.977         |
| Transporte     | 34.828         | 43.835         | 48.135         | 47.735         |
| Agrícola-comb. | 4.912          | 7.835          | 8.567          | 8.124          |
| Comercial      | 4.762          | 3.452          | 3.721          | 3.175          |
| Residencial    | 12.586         | 14.878         | 15.584         | 17.773         |
| Proc. Indus.   | 12.986         | 15.275         | 17.445         | 13.434         |
| Prod. Agr-gan  | 114.207        | 123.047        | 123.500        | 126.129        |
| Fugitiva       | 15.346         | 18.657         | 19.623         | 12.928         |
| <b>Total</b>   | <b>242.910</b> | <b>274.793</b> | <b>290.629</b> | <b>281.637</b> |

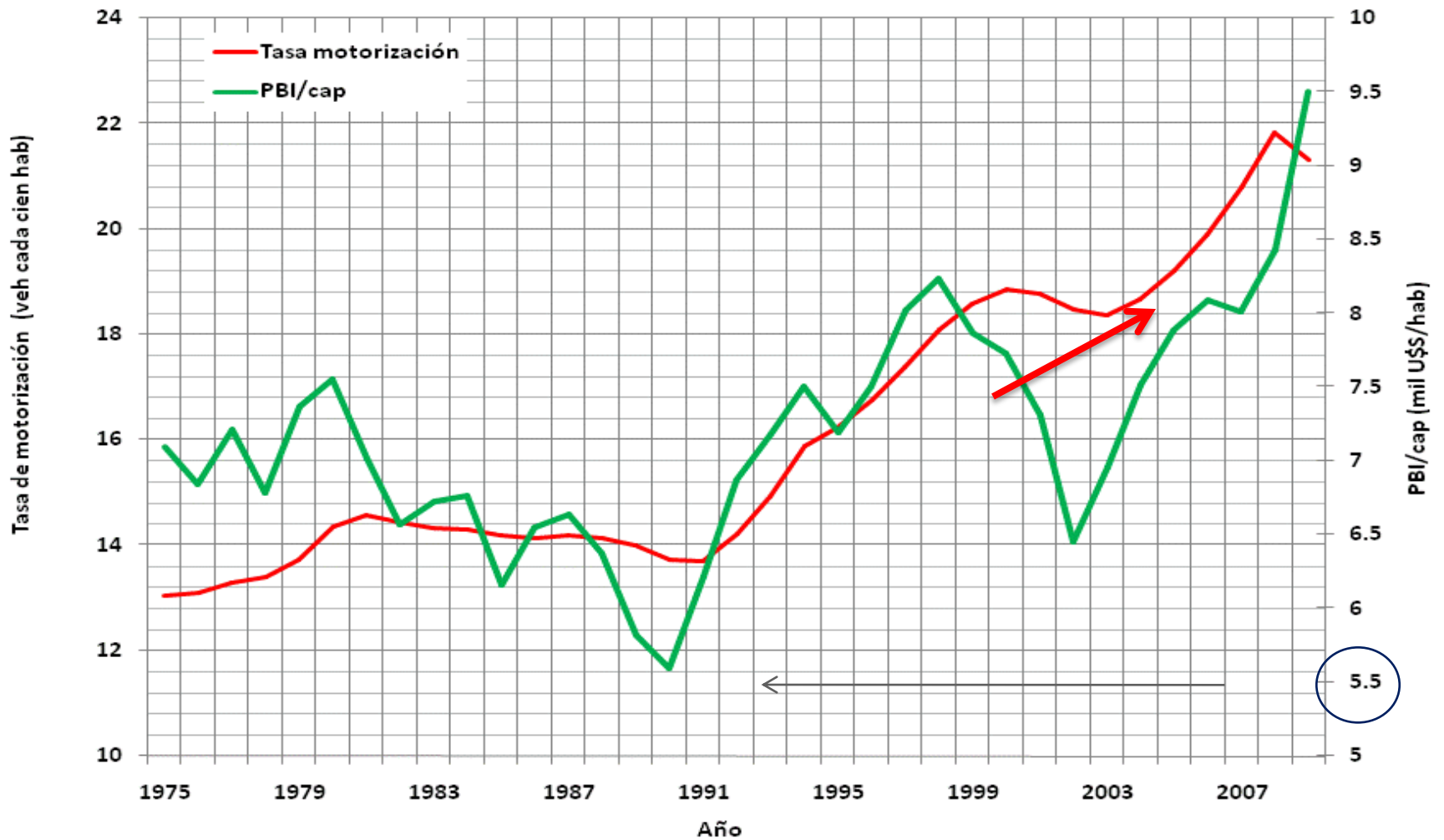
| b) %          | 1990        | 1994        | 1997        | 2000        |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Energía       | 12.47%      | 11.84%      | 12.60%      | 12.91%      |
| Industrial    | 5.35%       | 5.56%       | 6.00%       | 5.67%       |
| Transporte    | 14.34%      | 15.95%      | 16.56%      | 16.95%      |
| Agríc-comb.   | 2.02%       | 2.85%       | 2.95%       | 2.88%       |
| Comercial     | 1.96%       | 1.26%       | 1.28%       | 1.13%       |
| Residencial   | 5.18%       | 5.41%       | 5.36%       | 6.31%       |
| Proc. Indus.  | 5.35%       | 5.56%       | 6.00%       | 4.77%       |
| Prod. Agr-gan | 47.02%      | 44.78%      | 42.49%      | 44.78%      |
| Fugitiva      | 6.32%       | 6.79%       | 6.75%       | 4.59%       |
| <b>Total</b>  | <b>100%</b> | <b>100%</b> | <b>100%</b> | <b>100%</b> |

Fuente Elab. propia a partir de la 2da CNA.

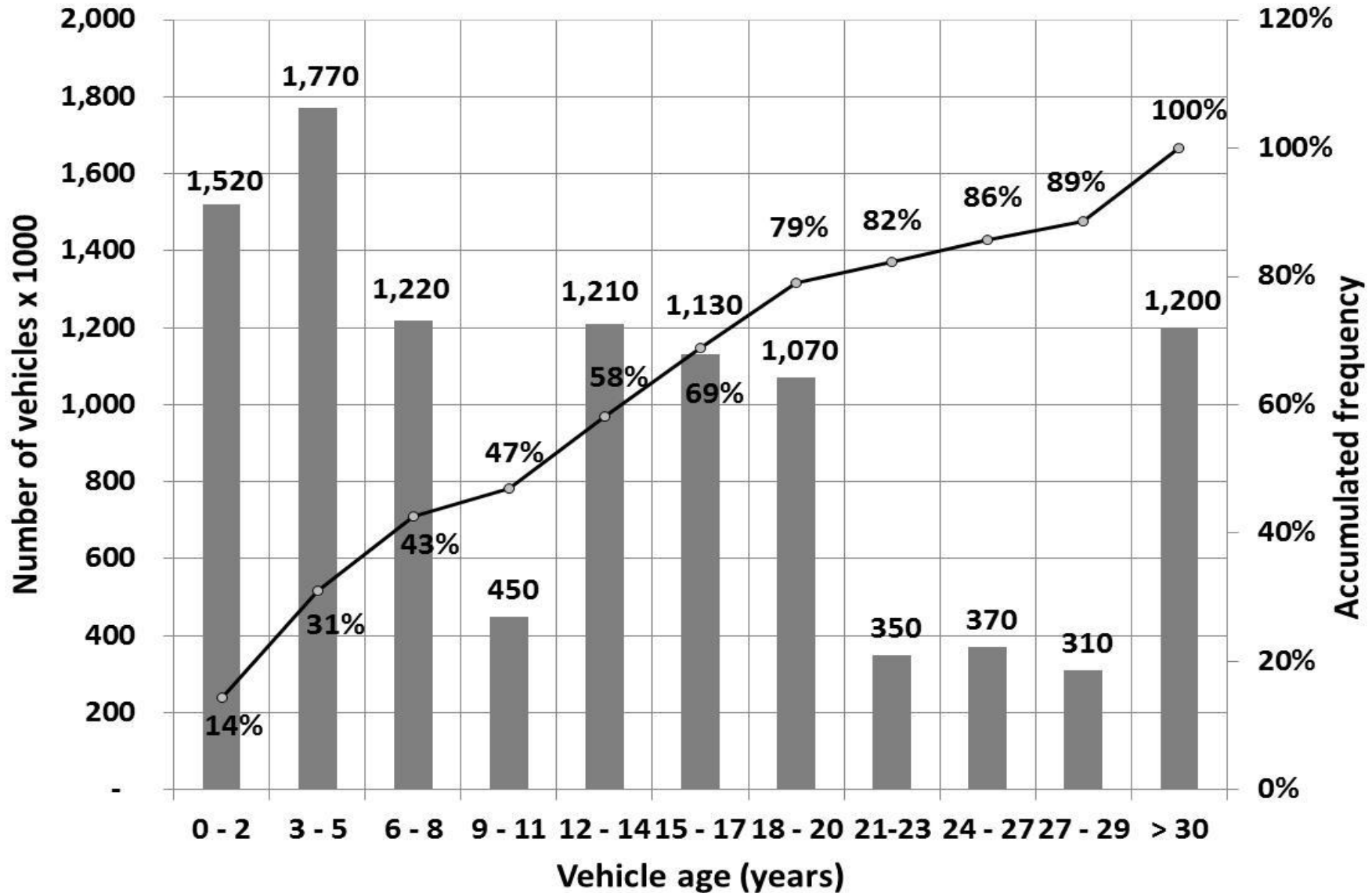
2da CNA, 2006: Segunda Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (2006),

<http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/Segunda%20Comunicacion%20Nacional.pdf>

# Número de vehículos cada 100 habitantes

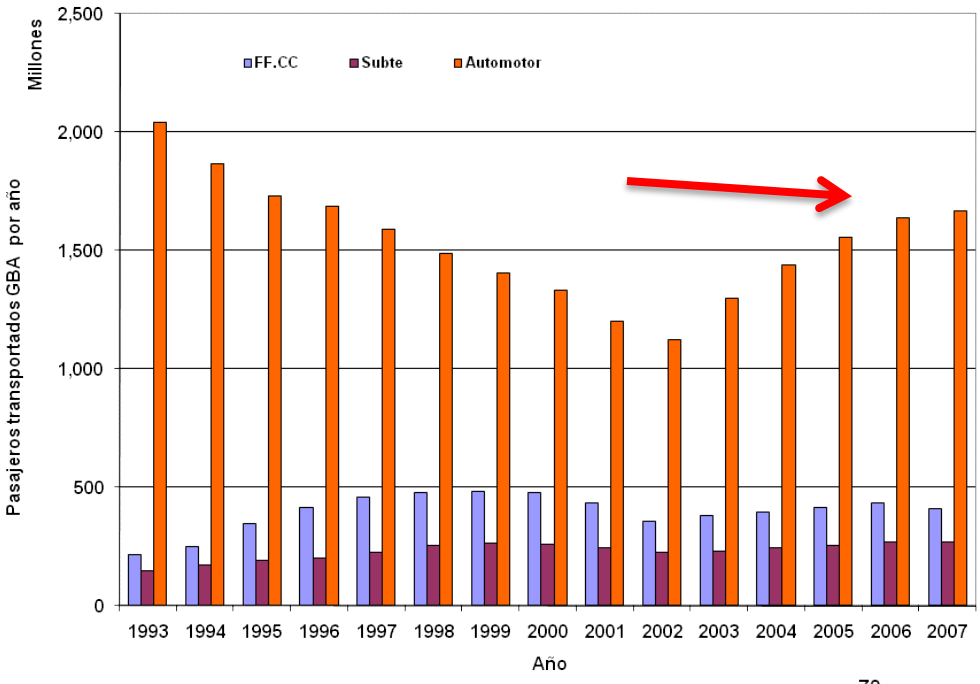


## Antigüedad del parque automotor

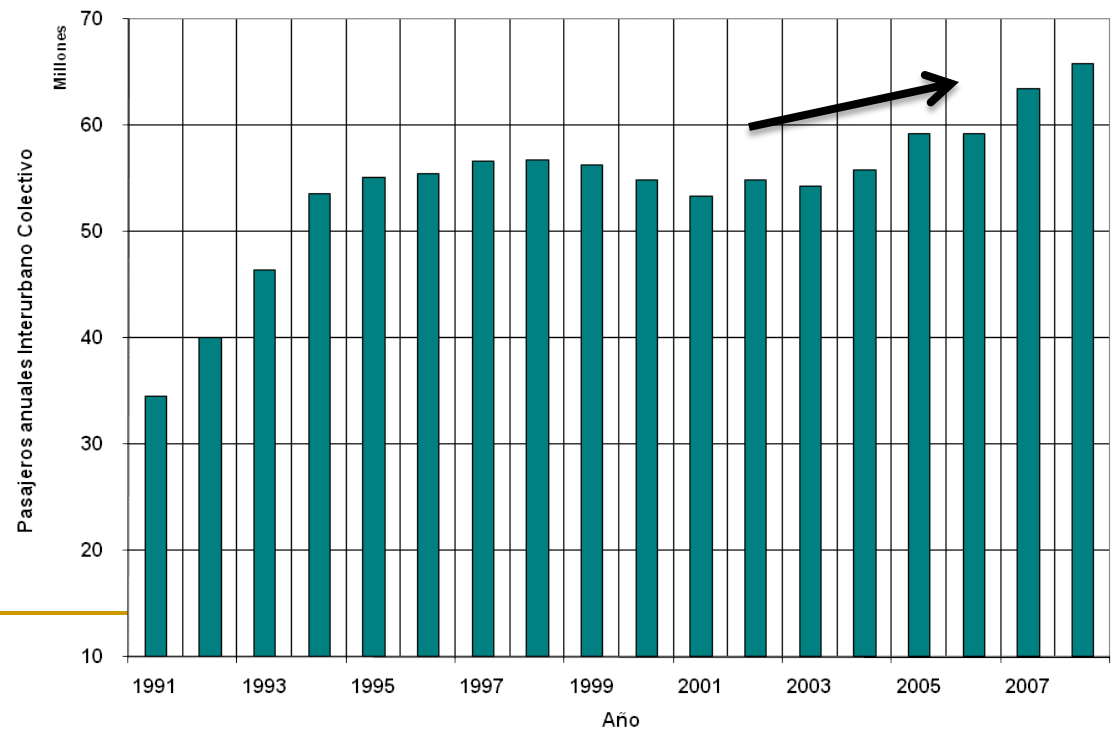


# Indicadores del transporte público

## Pasajeros GBA

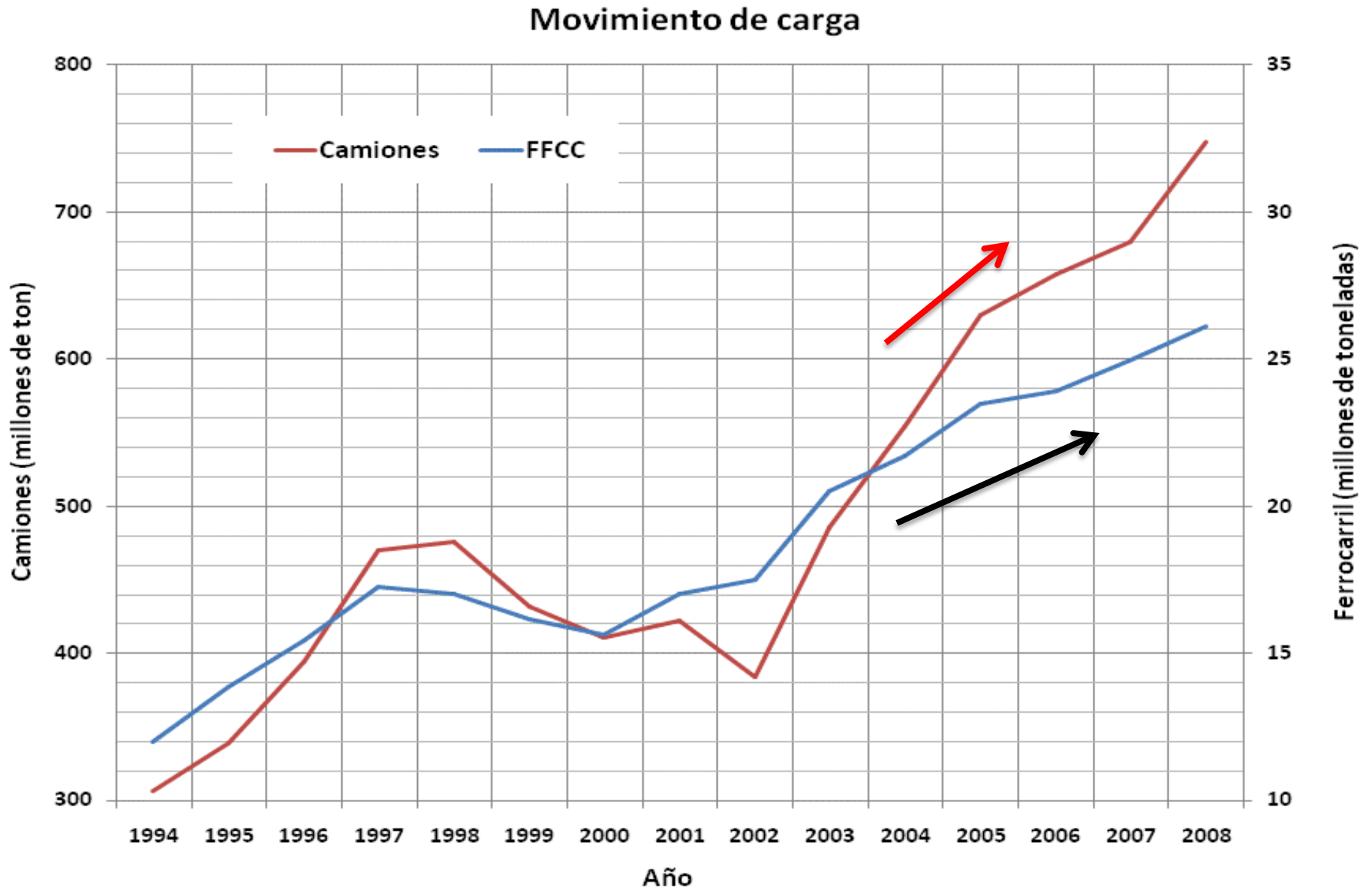


## Pasajeros Interurbanos Nacionales Ómnibus



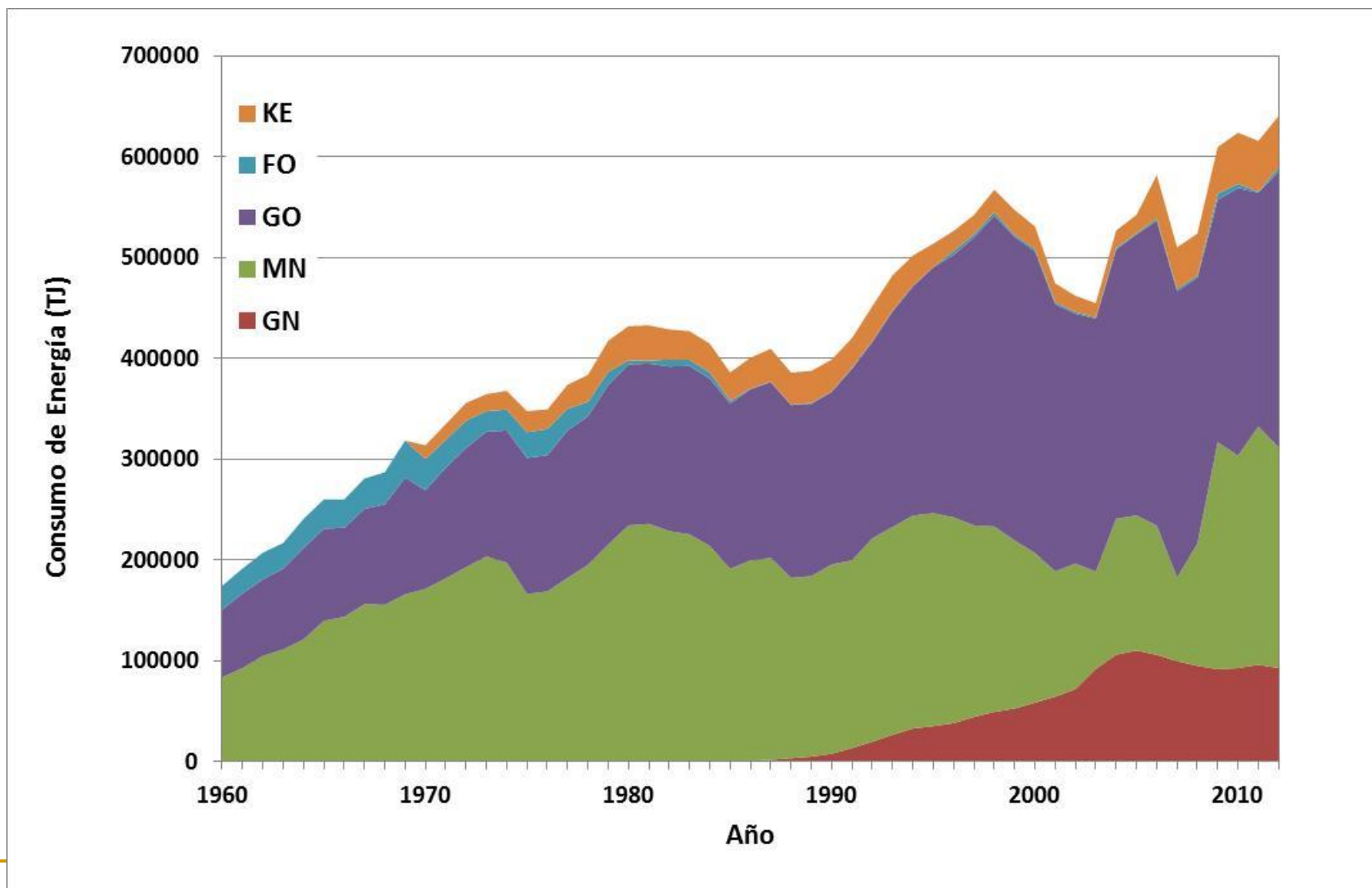


# Evolución del movimiento de carga

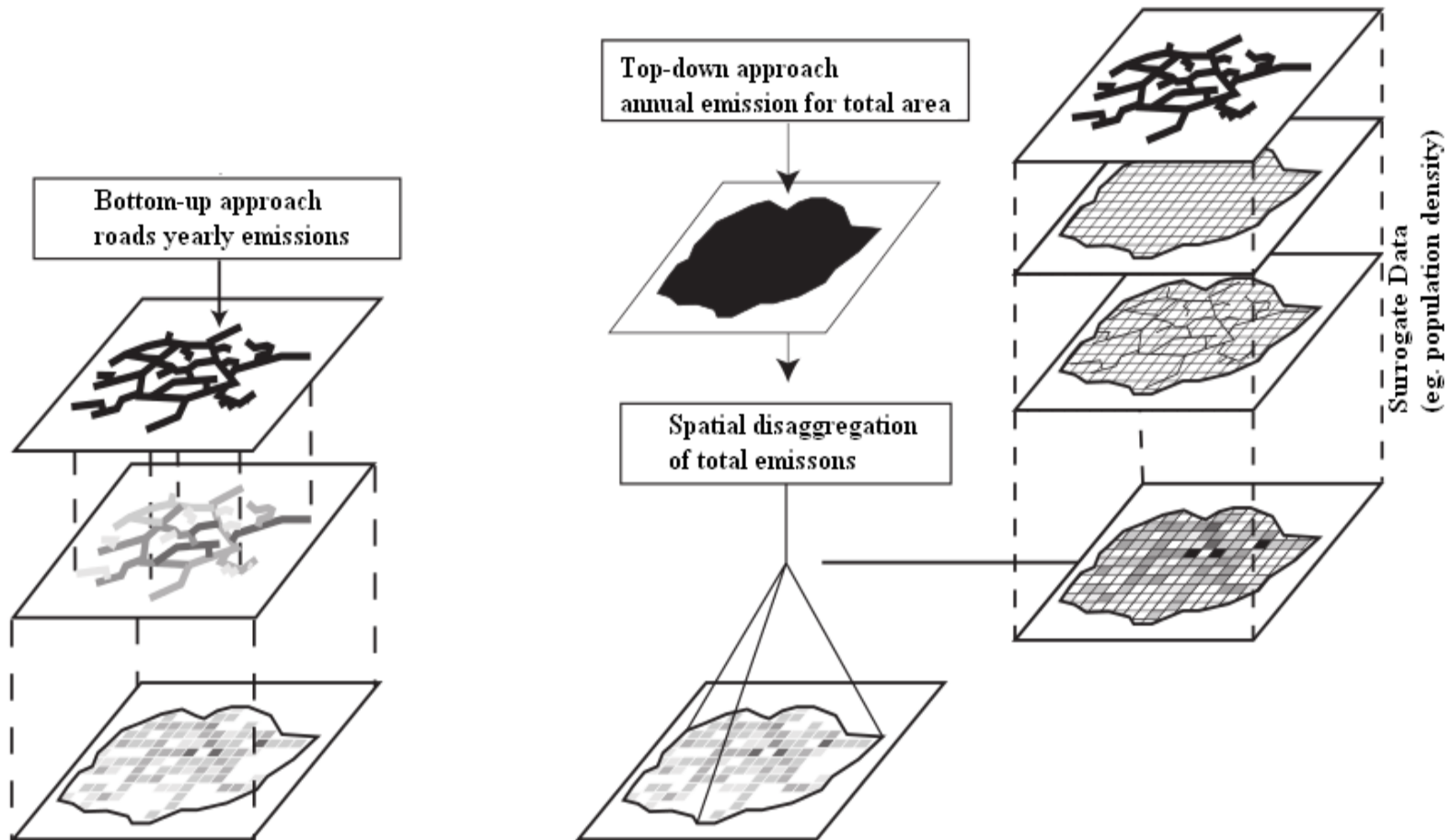


# Evolución del consumo de energía de Argentina años 1960-2010

## Según tipo de combustible



# Enfoques de resolución del problema



---

# Estimación de las emisiones del transporte.

## Principales indicadores: Modelo ASIF

$$E(y) = \sum_i \{ S(i,y) \times I(i) \times F_i(y) \}$$

Emisiones = S Venta de combustible tipo i (m<sup>3</sup>)  
(Tg/año) x I Intensidad energética (TJ/m<sup>3</sup>)  
x F Factor de emisión o eficiencia (Tg/TJ)

i: tipo de combustible, y: año

ASIF: **Activity** (Numero de viajes: movimiento de pasajeros y cargas); **Structure** (porcentajes por modo y tipo de vehiculos); **Intensity** (factores de emisión y uso)  
**Fuel** (Tipo y consumo de combustible)

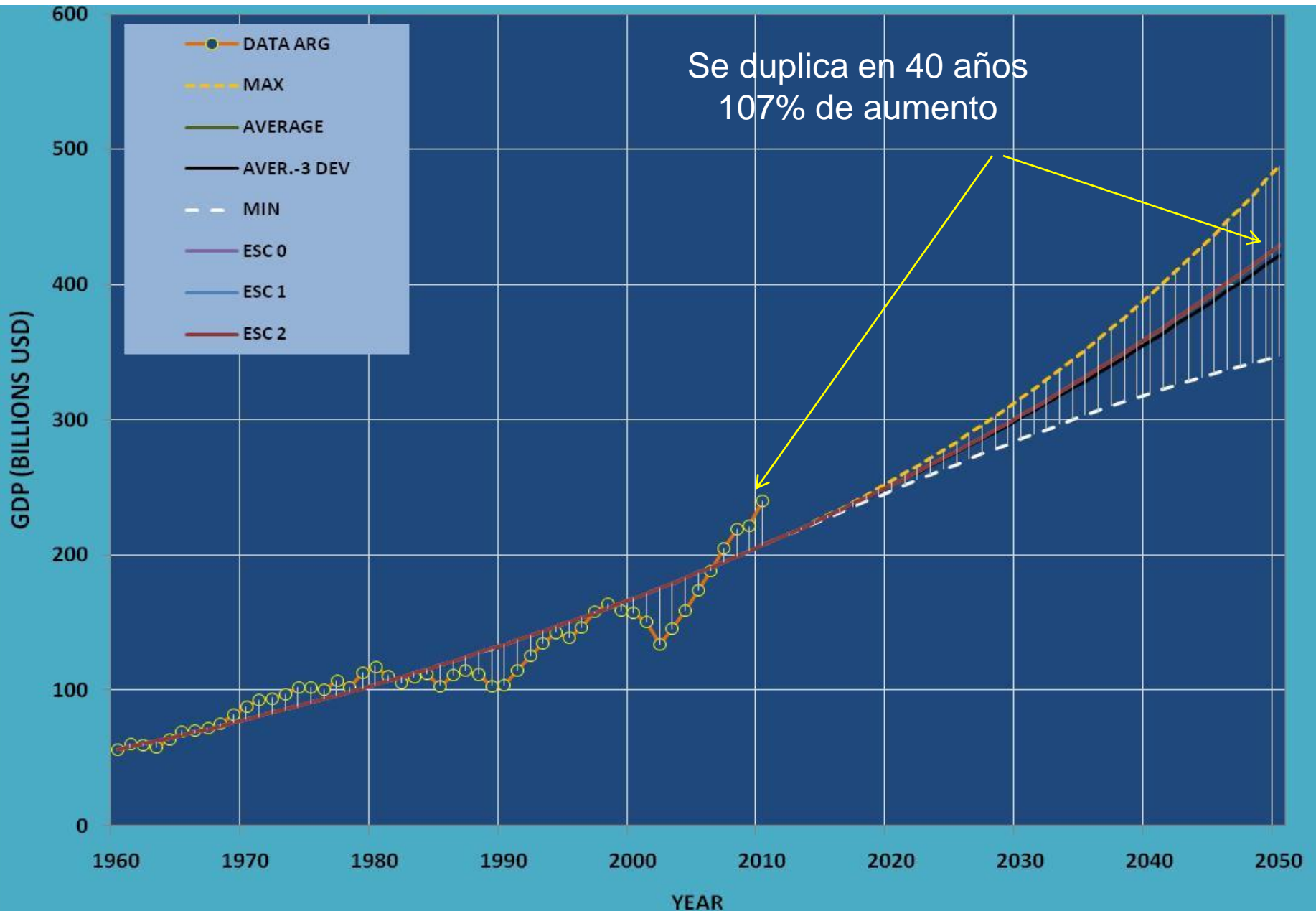
---

# Modelo y evaluación de escenarios.

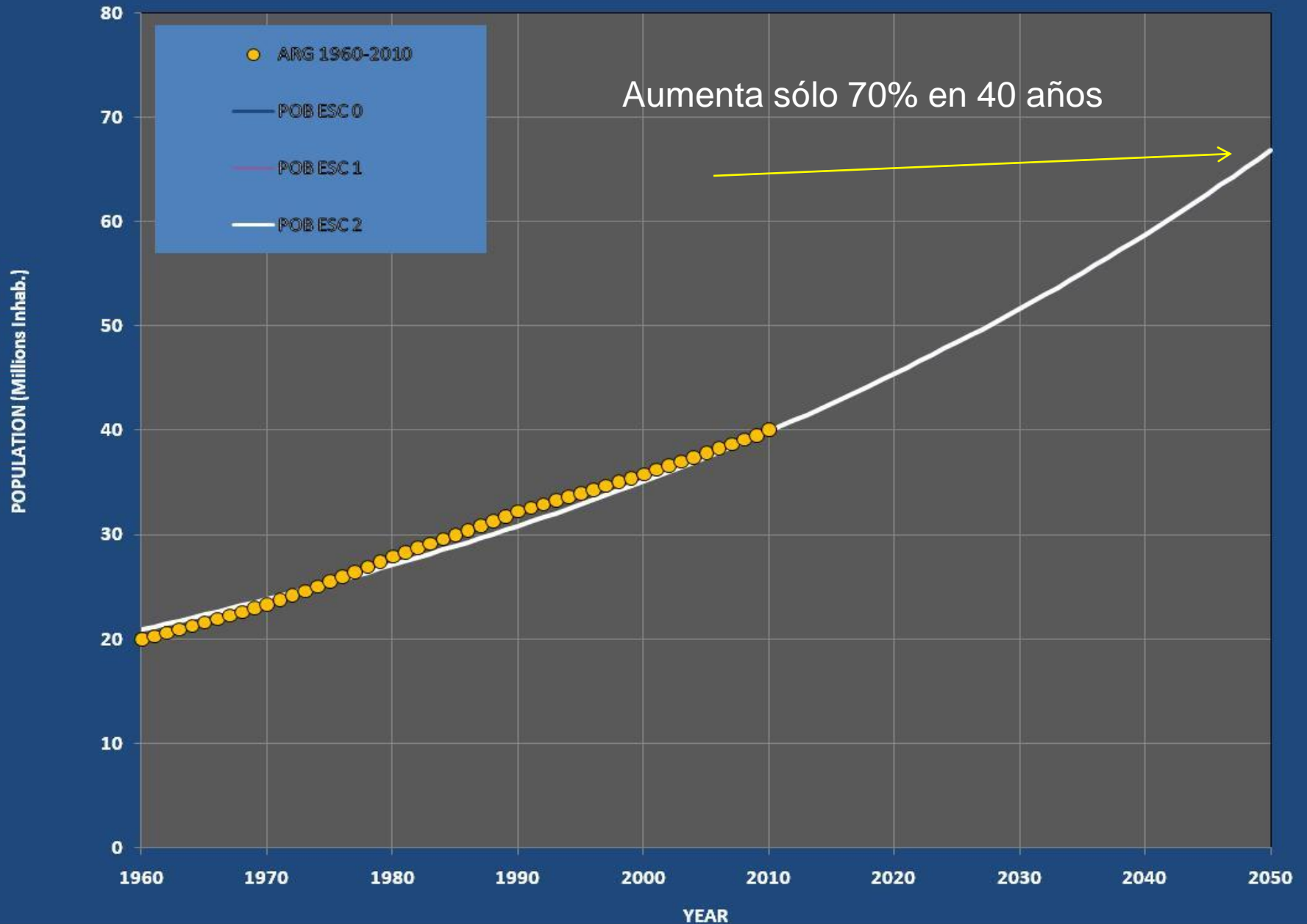
## Enfoque temporal

- Modelo: 1960-2050; Datos 1970-2010;
- 3 Escenarios 2010-2050; 1 Modelo Monte Carlo 2010-2050
- Población pasa de una tasa de 1% (2010) anual al 0,5% anual (2050)
- PBI/cap. crece al 1,5% promedio anual
- Vehículos privados sigue al PBI/cap.
- Movimiento de carga crece proporcional al PBI
- Aumento de la participación modal de los FFCC
- Aumento en la participación del transporte público
- Factores de emisión se reducen gradualmente
- Introducción de vehículos híbridos

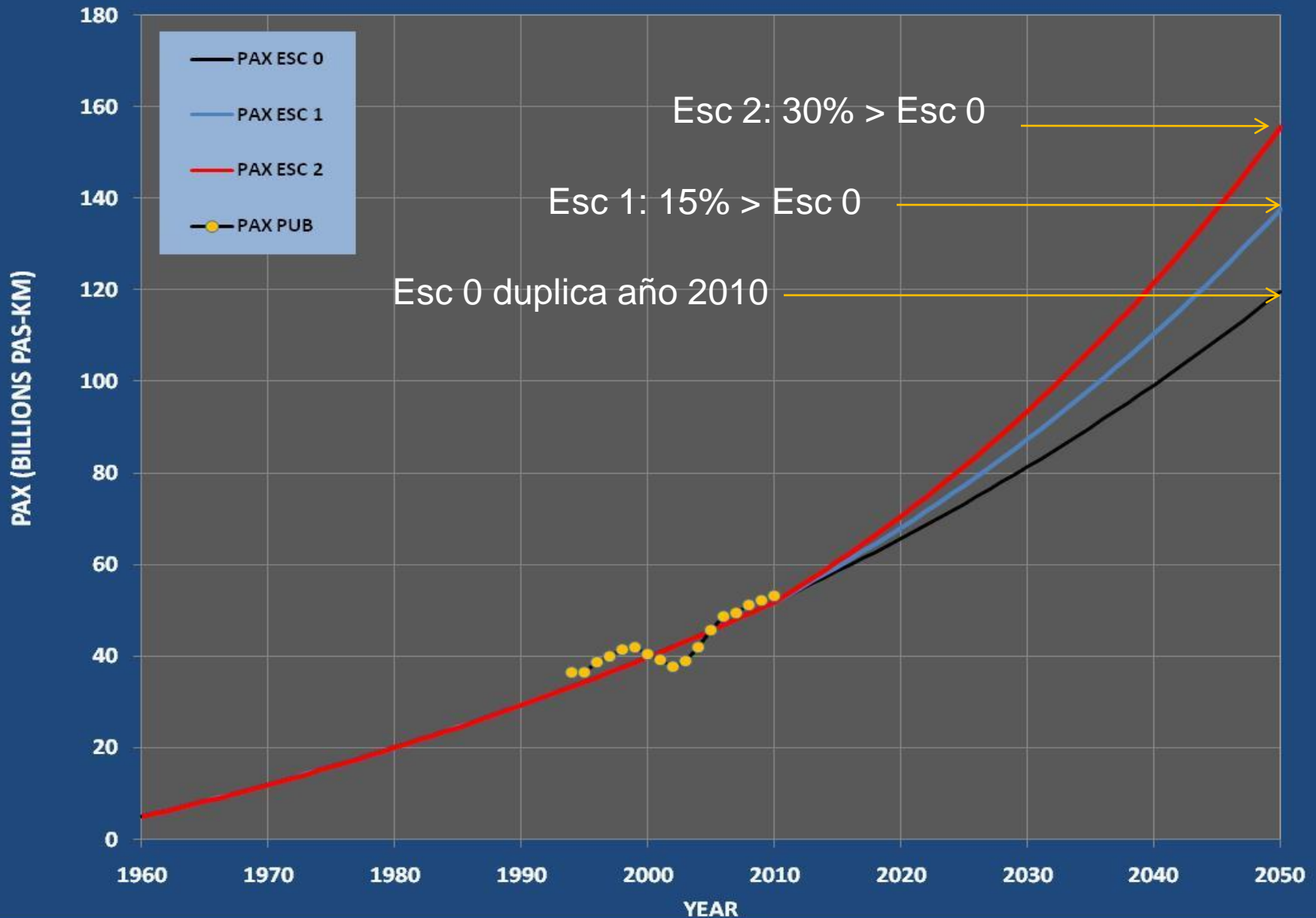
# Evolución del Producto Bruto Nacional (PBI) (en miles de millones de U\$D)



# Variación de la Población de Argentina (en millones de habitantes)

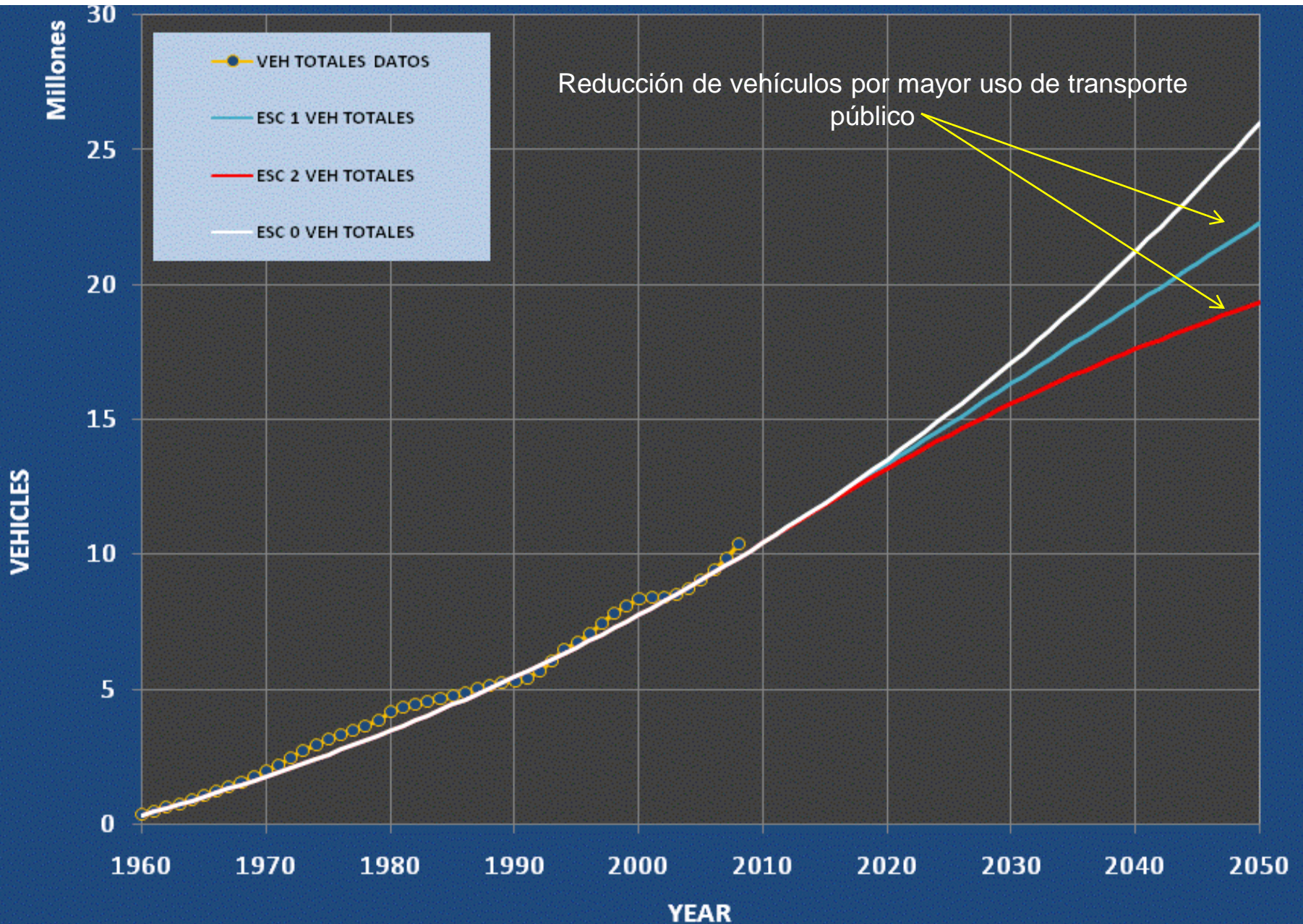


# Variación de los pasajeros en transporte público (en miles de millones de pasajeros-km)

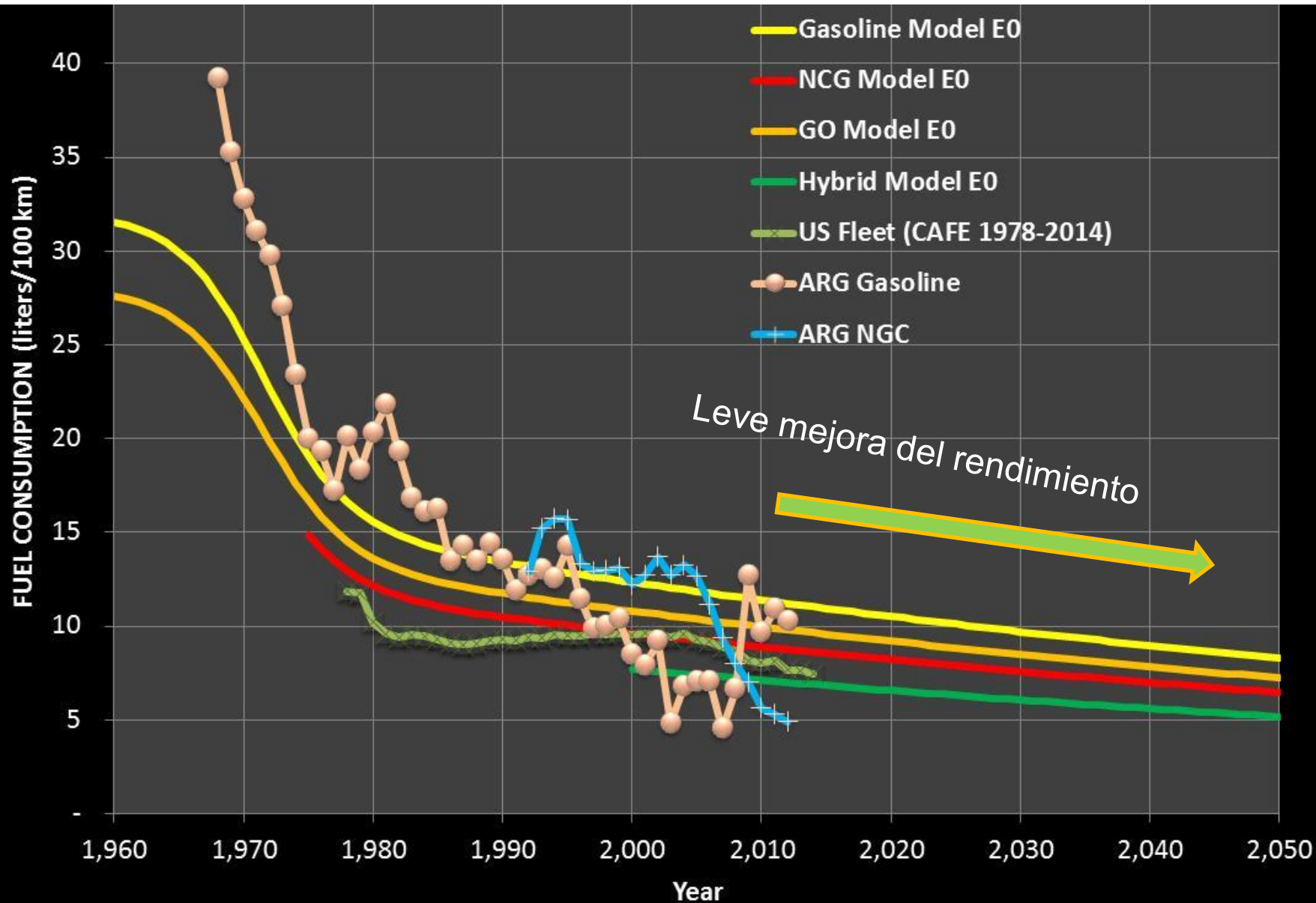




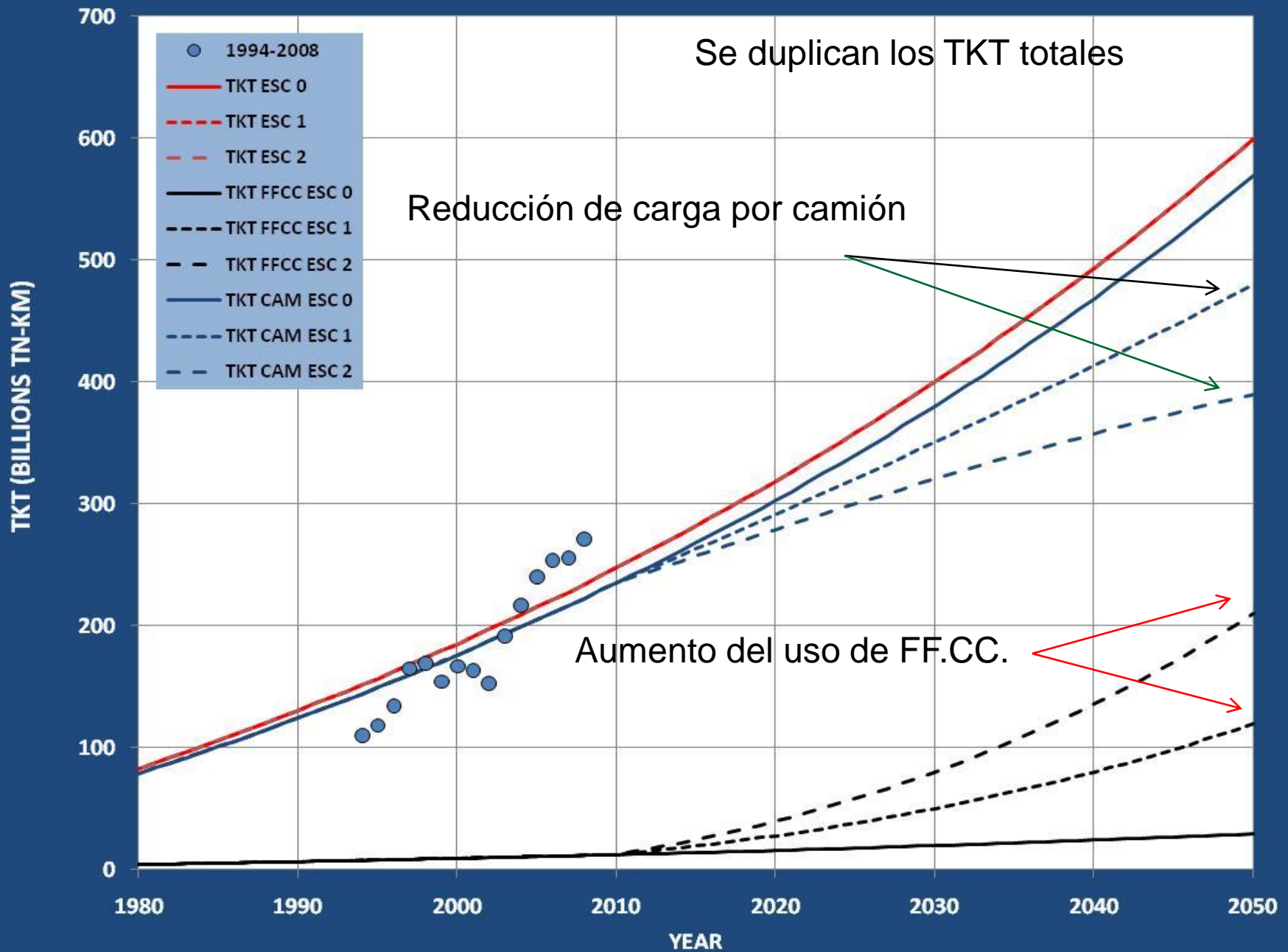
# Variación de la cantidad de vehículos



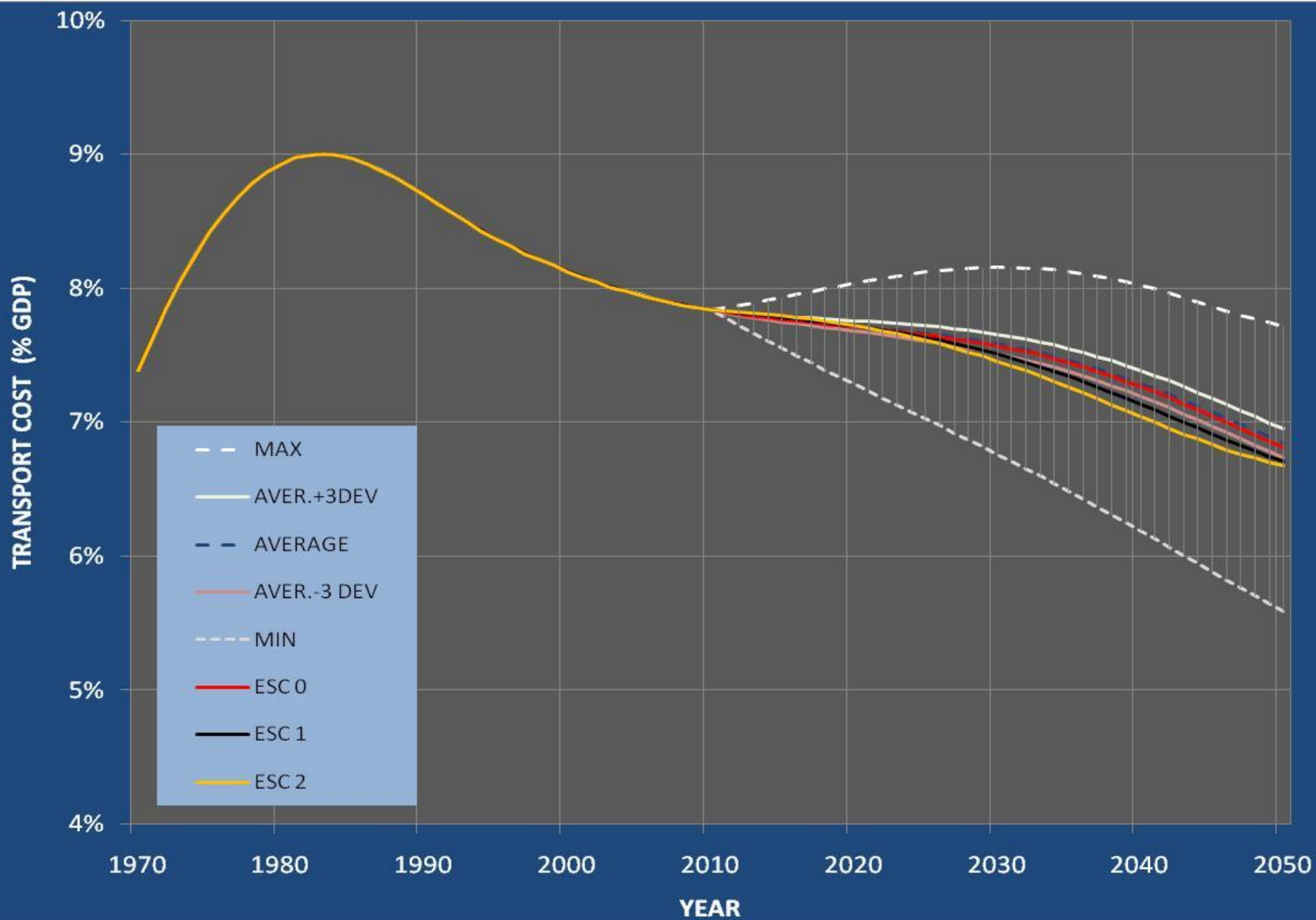
# Rendimiento del combustible (En litros por cada 100 km recorridos)



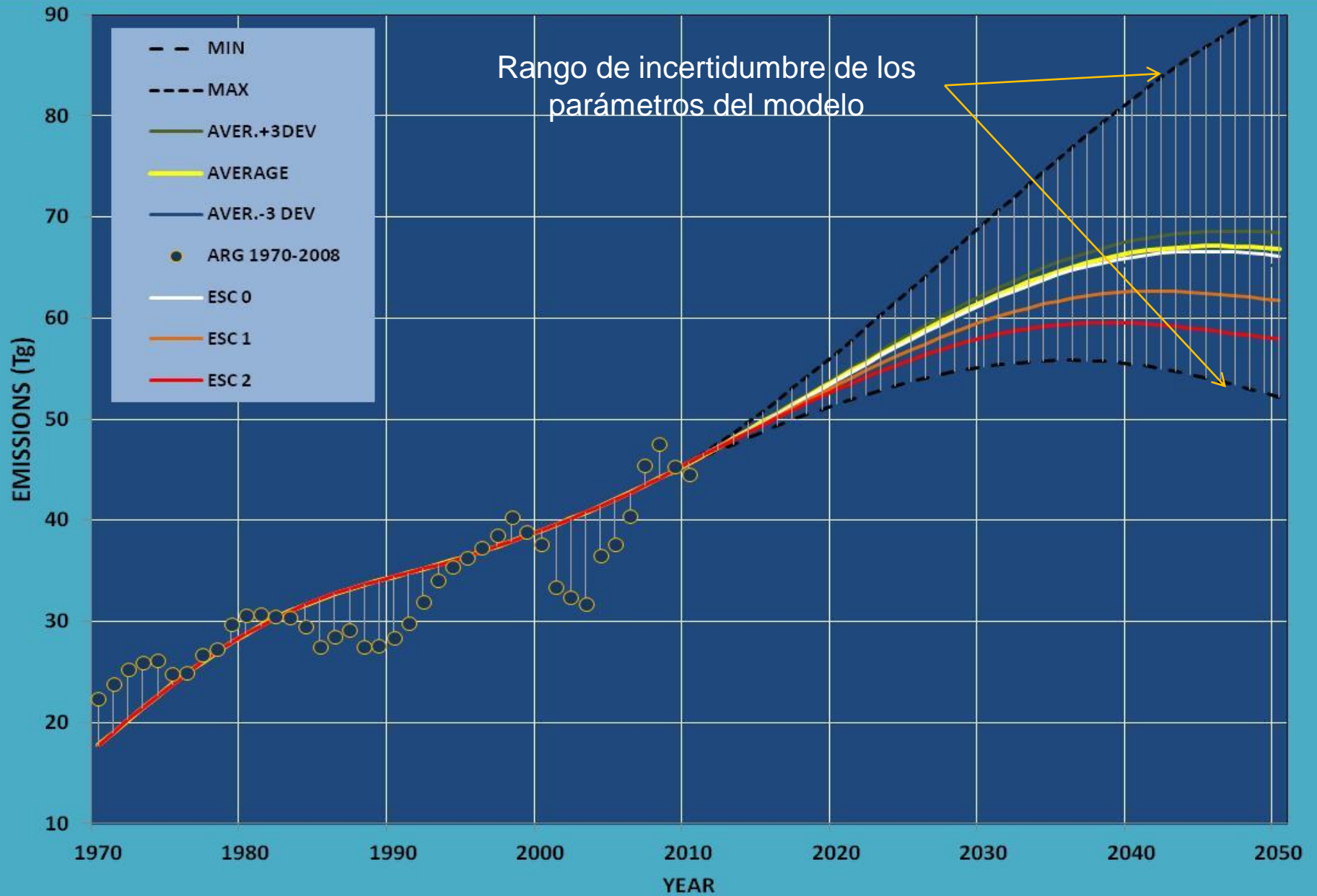
# Variación de la carga transportada en Camiones y FFCC (en miles de millones de tn-km)



# Evolución de los costos del sector Transporte en función del PBI



# Evolución de las emisiones de GEI, Sector Transporte.

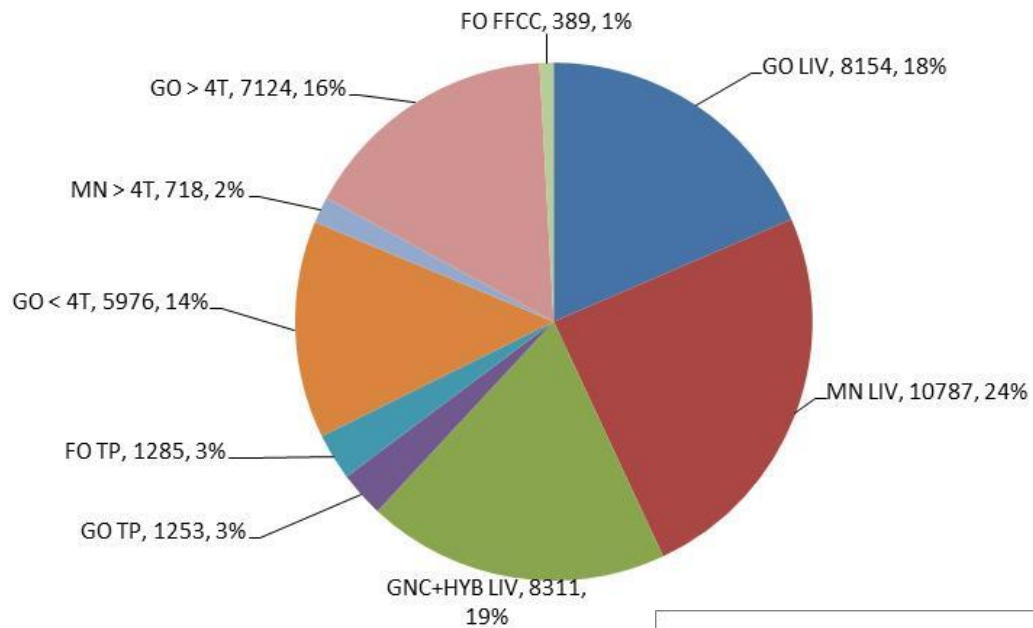


# Emissiones por combustible





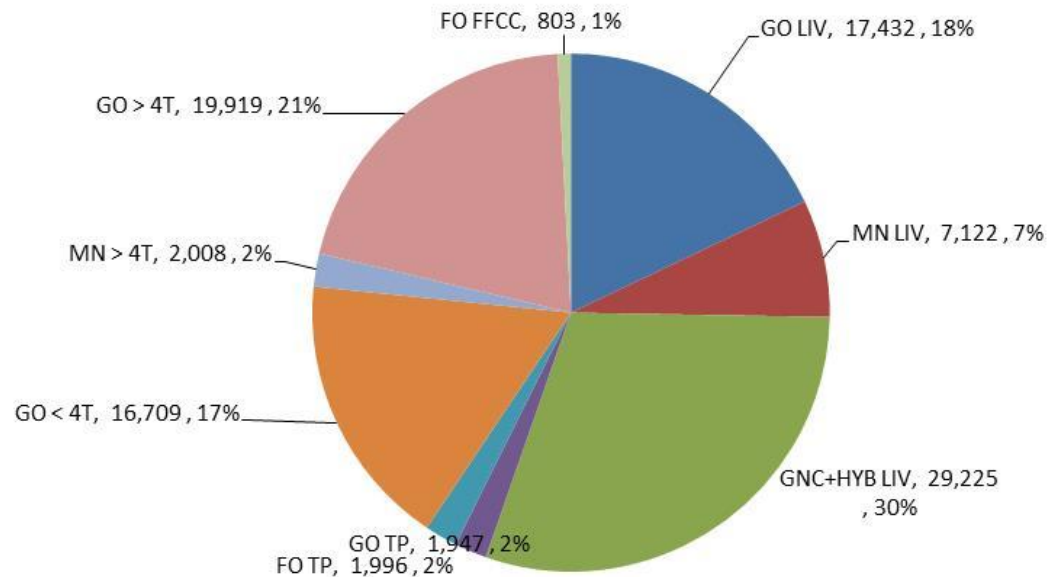
## CO2 (Gg) 2012



Distribución de  
emisiones de  
carbono

Según combustible  
y tipo de vehículo

## CO2 (Gg) 2050 E0

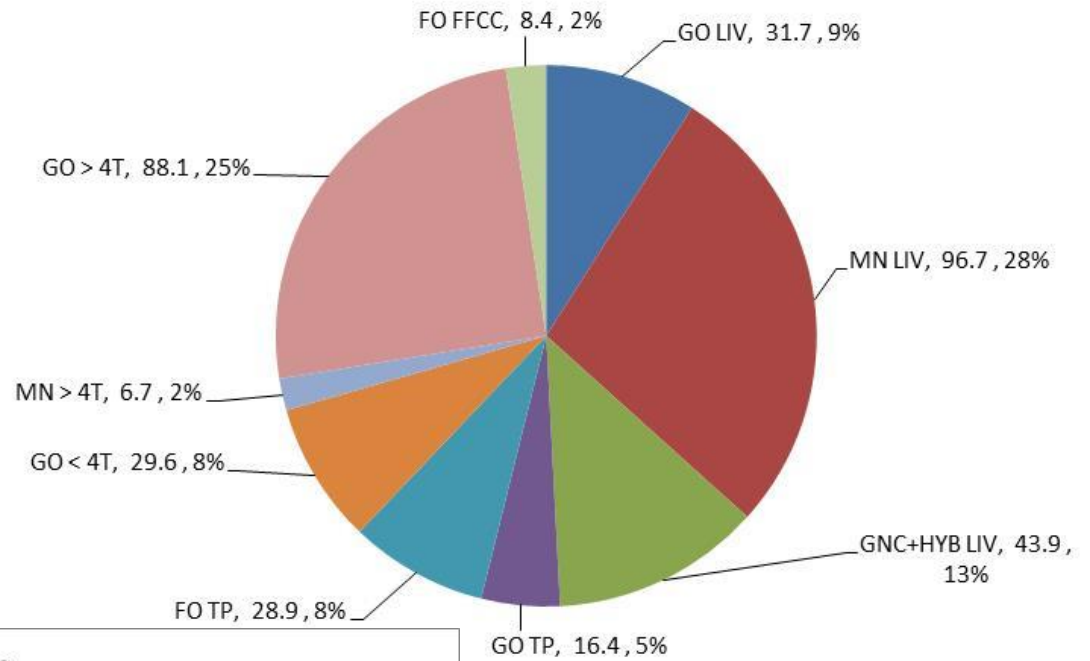




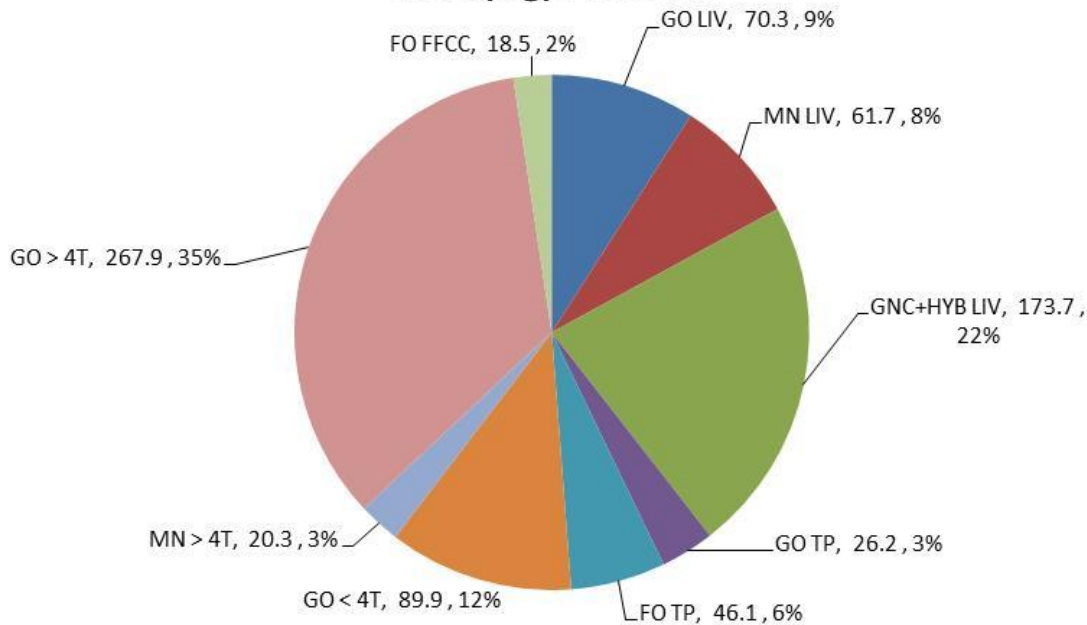
Emisiones  
totales de óxido  
de nitrógenos

Según  
combustible y  
tipo de vehículo

**NOx (Gg) 2010**



**NOx (Gg) 2050 E0**



---

# Atlas de emisiones.

## Enfoque espacial

El objetivo principal de este estudio es plantear un procedimiento sencillo para preparar un inventario de emisiones de alta resolución (grillado de 9 x 9 km) para el sector transporte carretero, basado en un sistema de información geográfico y utilizando información de fácil acceso.

Evaluar el impacto de estas emisiones en la calidad del aire

---

# Introducción

Modelos de Calidad del Aire (MCA)



Simulan los procesos físicos y químicos que implican la dispersión y la reacción de contaminantes en el aire



Estudio de la dispersión y transporte regional de aerosoles y otros contaminantes



Inventarios de emisiones de fuentes existentes en el área bajo estudio



SECTOR TRANSPORTE CARRETERO

# Organización de los datos

Los modelos de calidad del aire requieren del ingreso de mucha información de base, como:

- ❑ tipo de uso del suelo
- ❑ topografía, datos meteorológicos

## **inventarios de emisión de fuentes disponibles**



- Las bases de datos internacionales disponibles no siempre tienen la resolución adecuada o no están suficientemente actualizadas.
- No todos los países poseen el mismo nivel de desagregación de información:
  - ❑ Cantidad y calidad de datos
  - ❑ Resolución espacial

**Dificultad para elaborar inventarios consistentes y adaptables a los modelos regionales**

---

# Inventario del sector transporte carretero

La **actividad vehicular** se estima utilizando información nacional agregada:

- Número y distribución de los habitantes
  - Número promedio de viajes
  - Distancias medias de conducción
  - Composición del parque automotor
  - Eficiencia de consumo de combustibles
  - Factores de emisión (estimados a partir de modelos que incluyen diversos tipos de vehículos, combustibles y velocidades)
-

---

# Estimación de las emisiones del transporte.

## Principales indicadores: Modelo Bottom up

$$E(y) = \sum_{i,k} \{ N(i,k,y) \times L(i,k,y) \times M(i,k,y) \times F(i,k,y) \}$$

Emisiones (g/año) = N Número de vehículos (veh/año)  
x L km recorridos (km/veh)  
x M Rendimiento combustible l/km  
x F Factor de emisión (g/km)

i: tipo de combustible

k: tipo de vehículo

y: año del modelo o cohorte

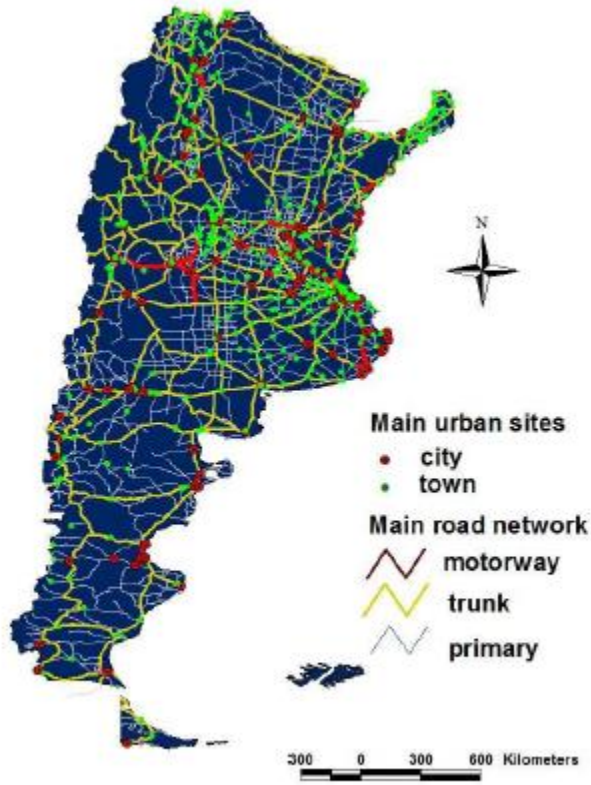
---

---

# Datos utilizados

- *Fuentes de puntos:* Mapas de localidades y censo de tránsito diario medio anual TDMA (DNVA), el cual existe para las principales rutas (Vialidad Nacional).
  - Venta de combustible por localidades (Secretaría de Energía).
  - *Fuentes de área o polígonos:* Mapa de Argentina por departamento con información de población, densidad poblacional y otros indicadores económico sociales (INDEC, IGN).
  - *Fuentes de líneas:* Mapas de calles y rutas (Instituto Geográfico Nacional IGN) clasificados en accesos, rutas troncales, rutas nacionales, rutas provinciales, primarias, secundarias.
  - *Imágenes satelitales:* Imagen satelital “*Earth at night*” tipo TIFF con tres bandas: roja, verde y azul (NOAA-NGDC, 2010).
-

# Información inicial básica (referenciada geográficamente)



(a)



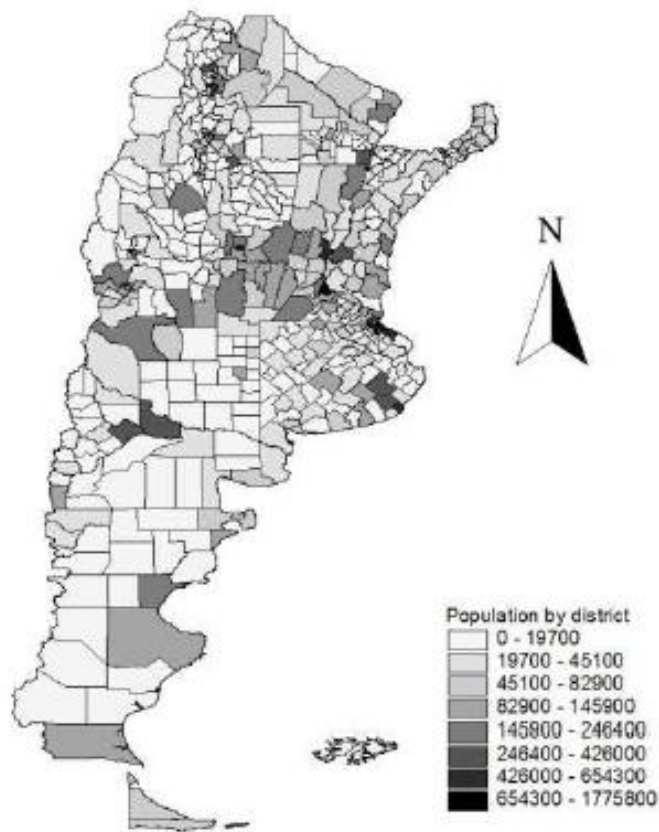
(b)

(a) Ubicación de ciudades y pueblos (información de punto), rutas y accesos principales (información de línea).

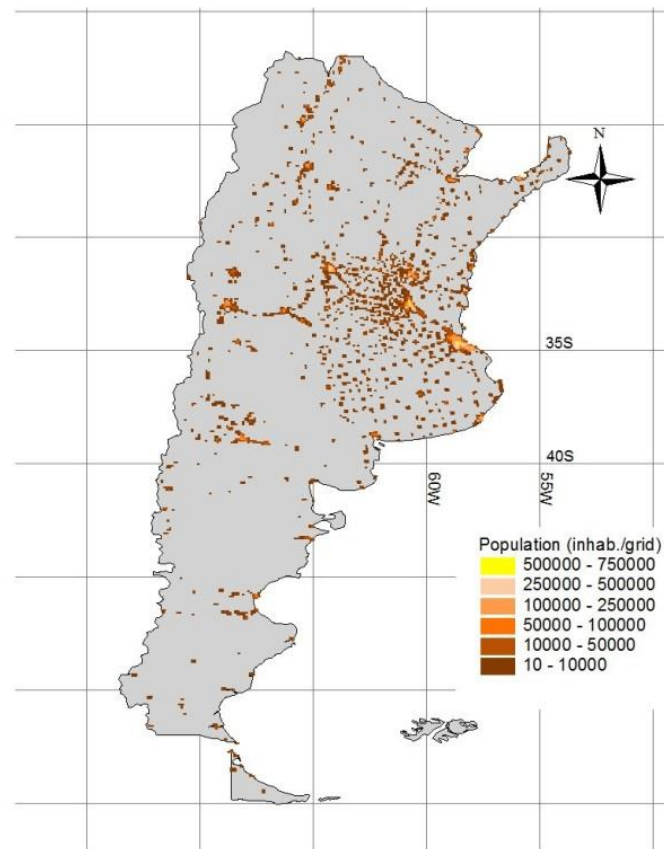
(b) Fotos de luces nocturnas ("*Earth at night*") (información de imagen).



# Población



(a)

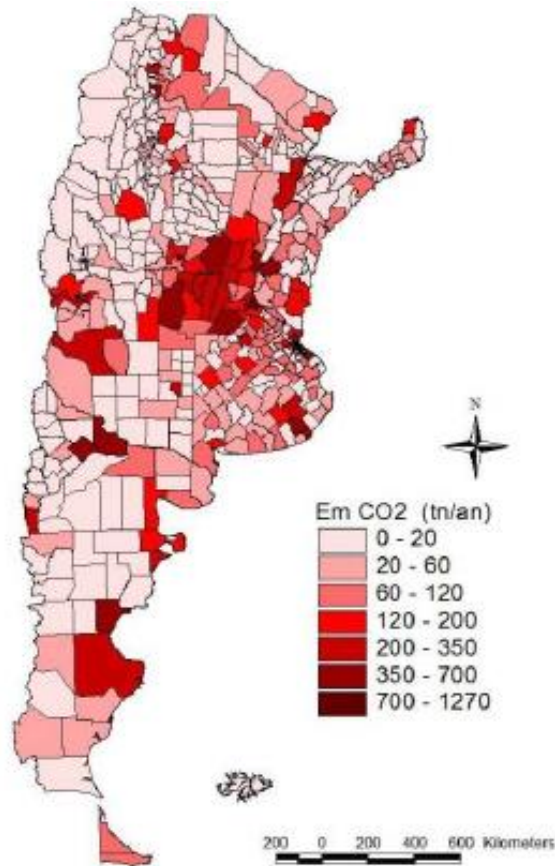


(b)

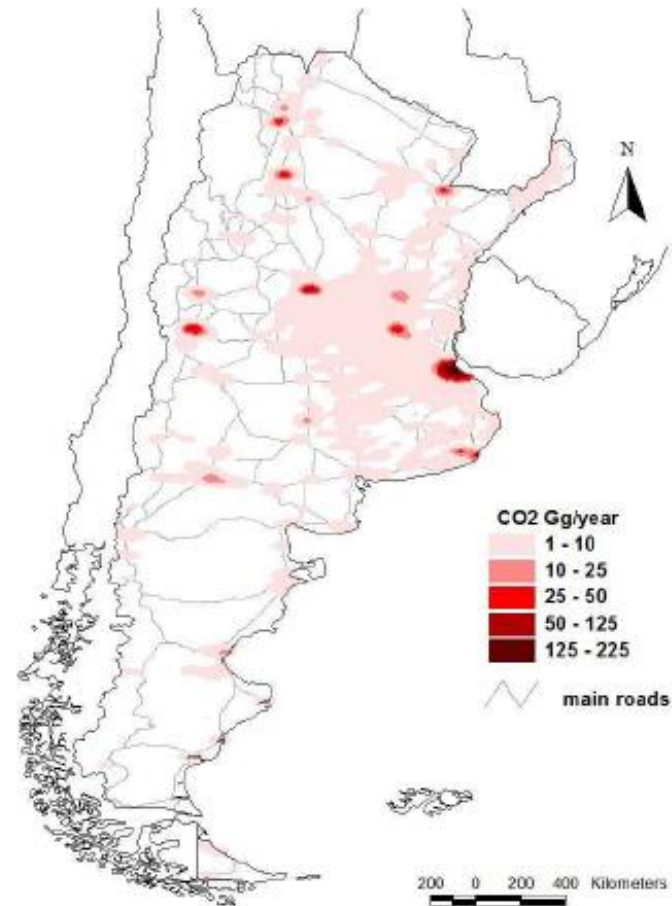
(a) Población por distrito (datos).

(b) Población territorial usando *Earth at night*.

# Emisiones



(a)

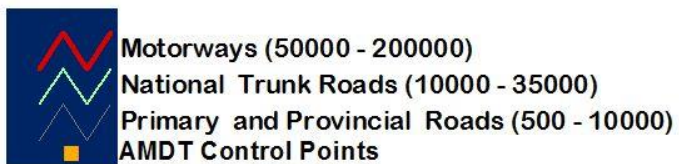
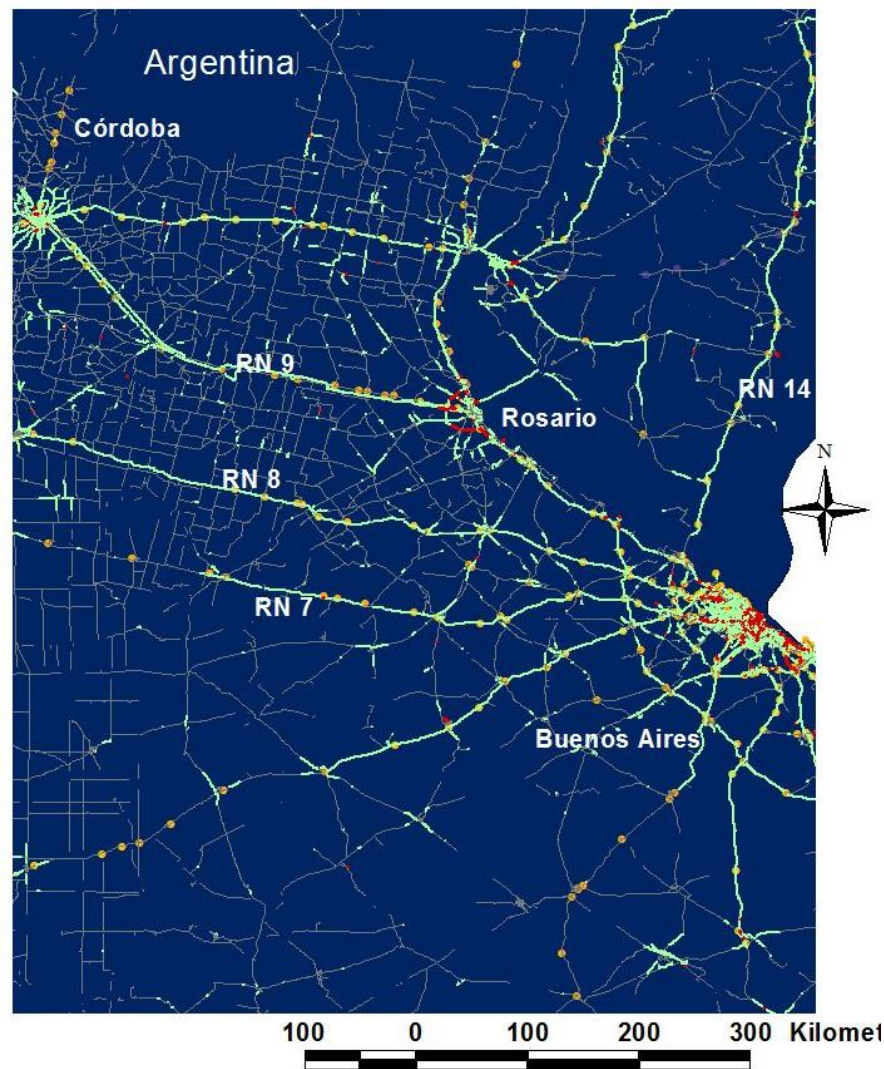
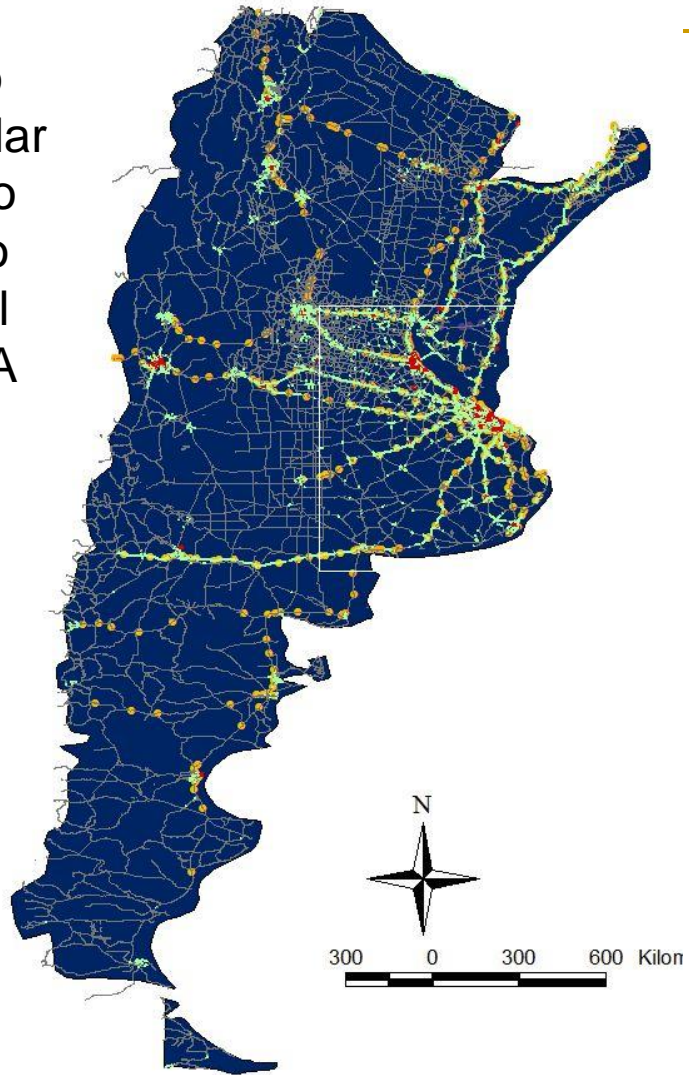


(b)

(a) Emisiones por distrito (datos).

(b) Emisiones distribuidas según nuevo grillado.

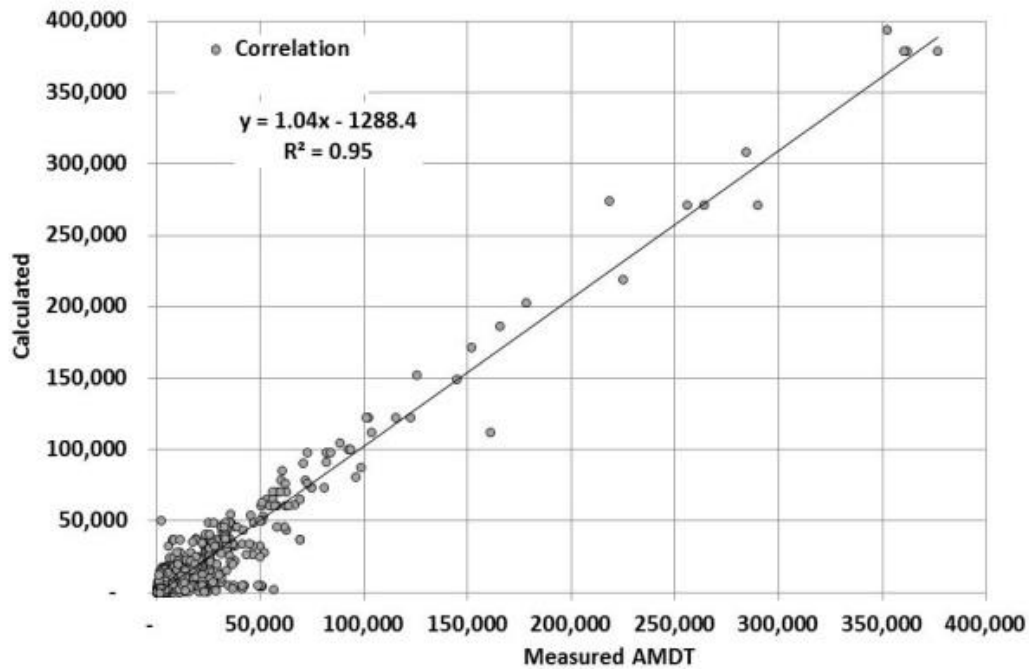
Flujo  
vehicular  
medio  
diario  
anual  
TDMA



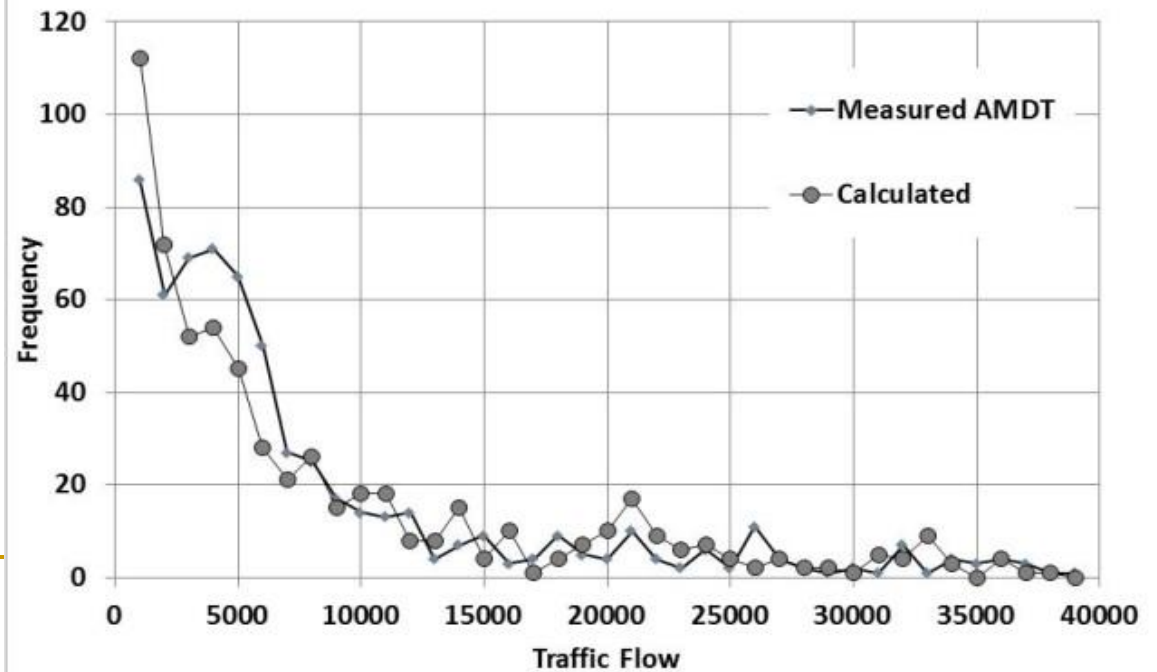
# Calibración del modelo en rutas argentinas

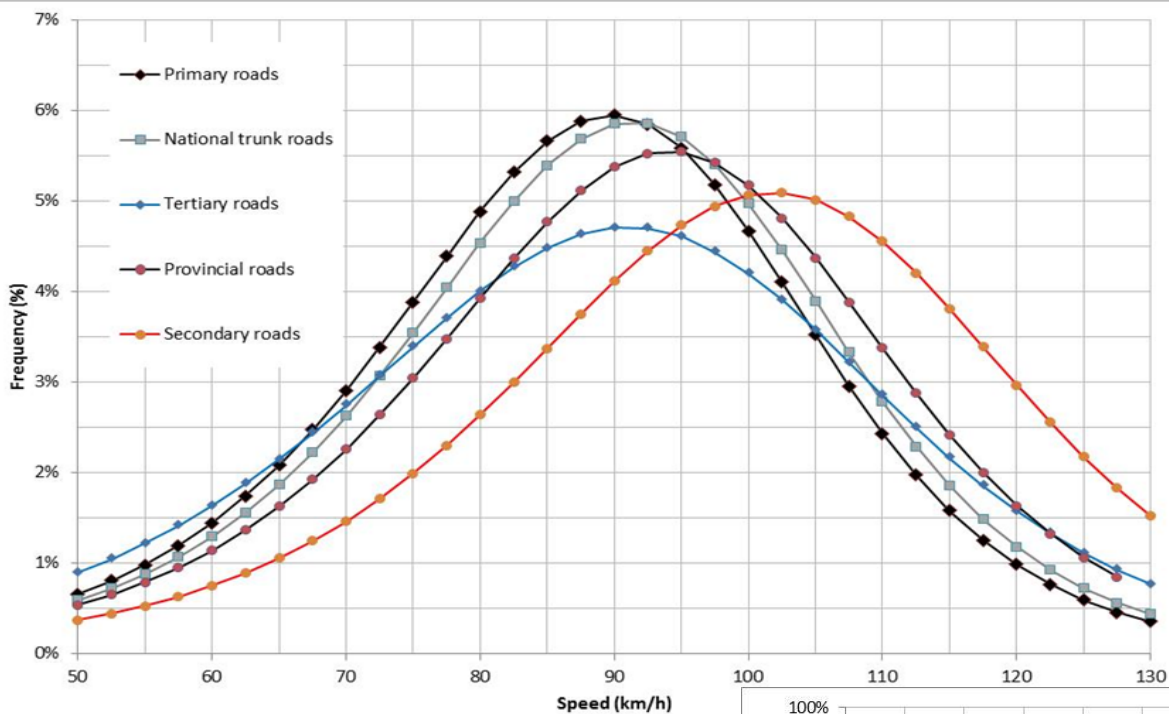
| Hierarchy            | Number<br>of points | Hierarchy | AMDT    |              |            | Ratio to<br>motorways |
|----------------------|---------------------|-----------|---------|--------------|------------|-----------------------|
|                      |                     |           | Average | Std.<br>Dev. | Assumed    |                       |
| Motorways            | 55                  | 1         | 112,890 | 55%          | 120,000(*) | 1.000                 |
| National trunk roads | 229                 | 2         | 29,961  | 38%          | 30,000     | 0.250                 |
| Primary roads        | 243                 | 3         | 9,763   | 24%          | 9,000      | 0.075                 |
| Provincial roads     | 570                 | 4         | 3,838   | 32%          | 4,000      | 0.033                 |
| Secondary streets    | 336                 | 5         | 1,281   | 32%          | 1,000      | 0.008                 |
| Tertiary streets     | 115                 | 6         | 243     | 56%          | 250        | 0.002                 |
| <b>Total points</b>  | <b>1548</b>         |           |         |              |            |                       |

| Road Class           | LIGHT VEHICLES |       |                 | HEAVY VEHICLES |      |                 |
|----------------------|----------------|-------|-----------------|----------------|------|-----------------|
|                      | SPEED (KM/H)   |       | VEH.<br>PROPOR. | SPEED (KM/H)   |      | VEH.<br>PROPOR. |
|                      | MV             | P85   |                 | MV             | P85  |                 |
| National trunk roads | 91.2           | 109.2 | 80.7            | 75.2           | 88.9 | 19.3            |
| Primary roads        | 89.8           | 107.9 | 71.0            | 75.0           | 87.9 | 29.0            |
| Provincial roads     | 94.2           | 113.4 | 68.4            | 77.0           | 90.1 | 31.6            |
| Secondary streets    | 101.7          | 122.6 | 70.6            | 79.9           | 92.7 | 29.4            |
| Tertiary streets     | 91.3           | 112.9 | 75.9            | 73.1           | 87.2 | 24.1            |



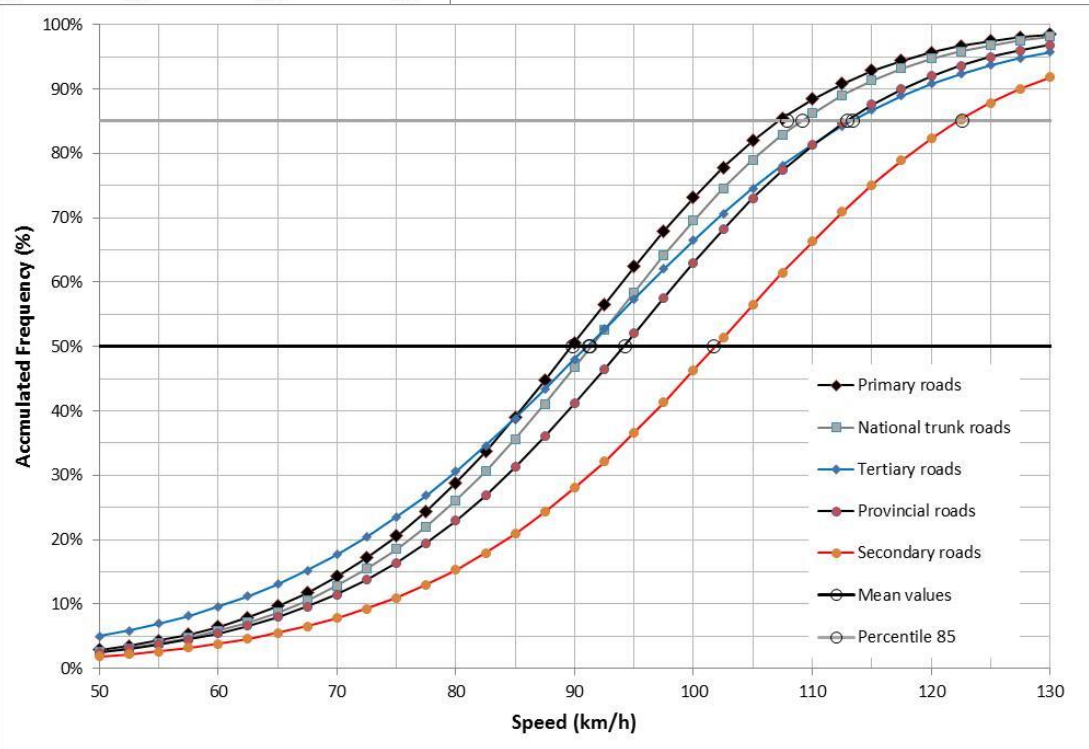
Calibración del método con datos de los censos de tránsito de vialidad





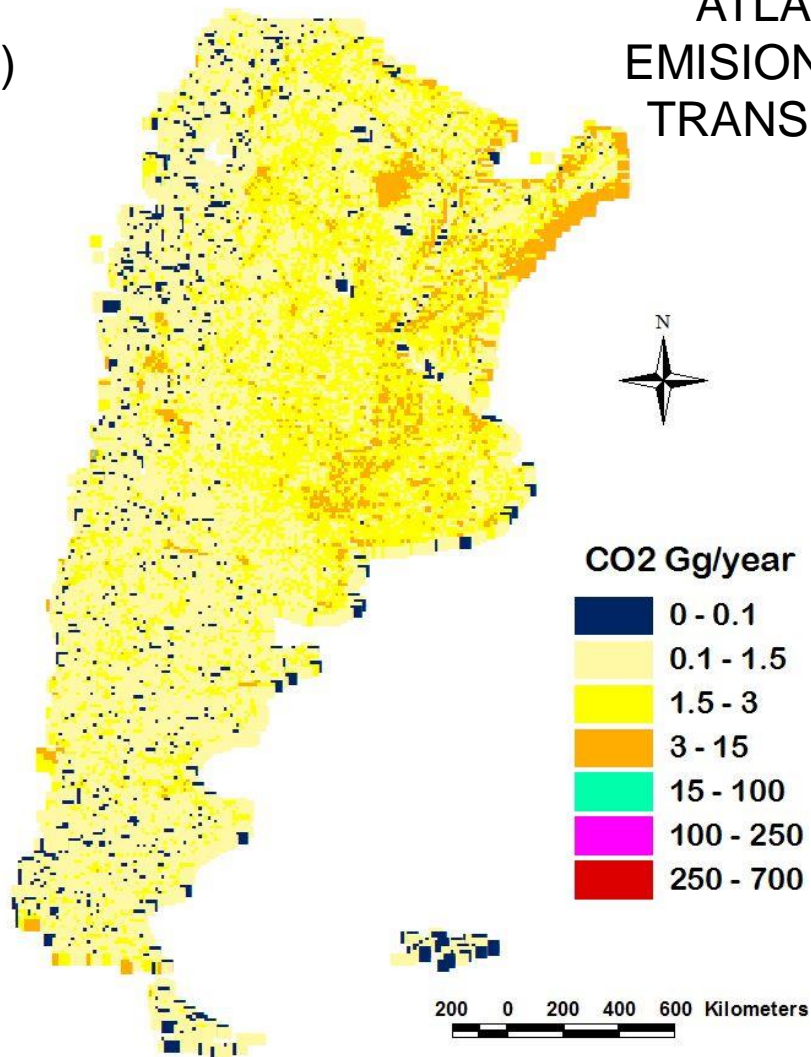
## Distribución de velocidades en rutas argentinas

Las velocidades influyen en las emisiones vehiculares

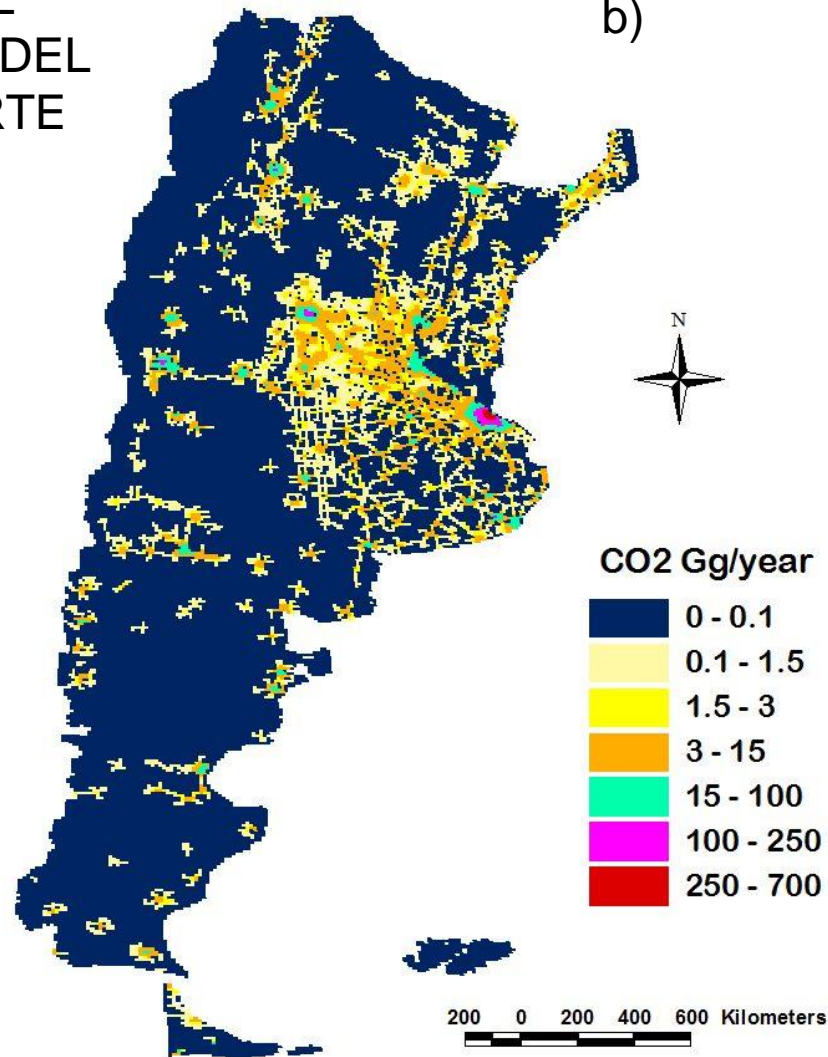


# ATLAS DE EMISIONES DEL TRANSPORTE

a)

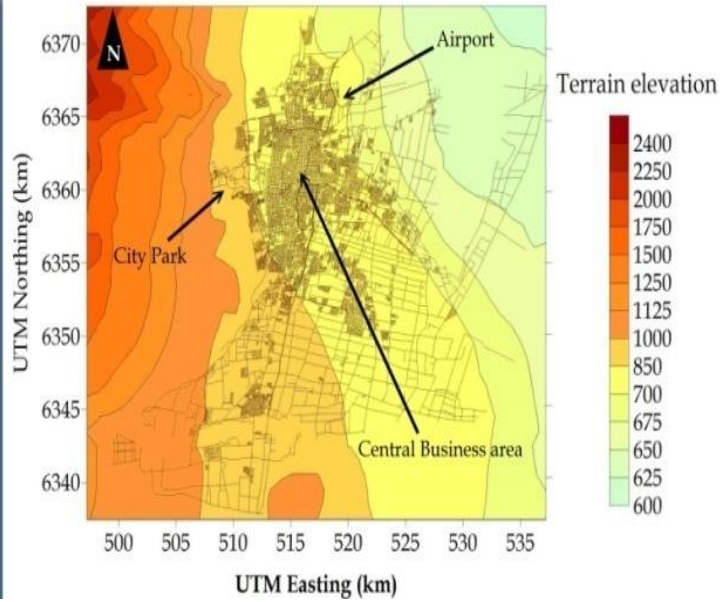


b)



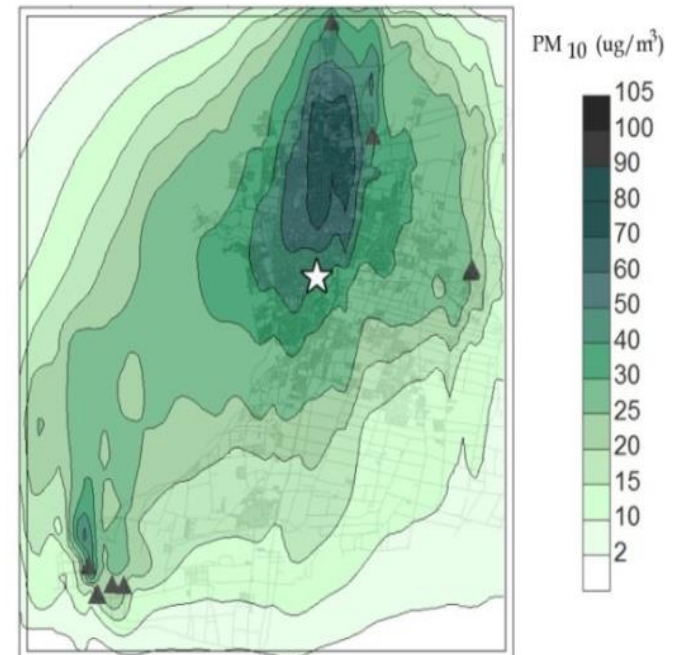
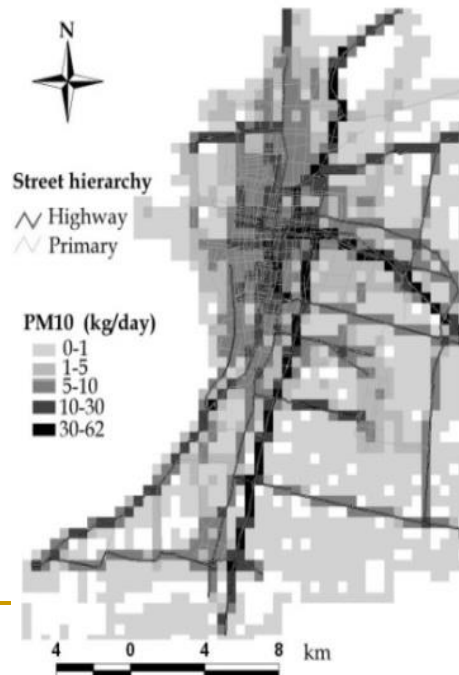
(a) Emisiones anuales inventario internacional EDGAR (Modelo europeo).

(b) Emisiones anuales distribuidas según nuestra propuesta.



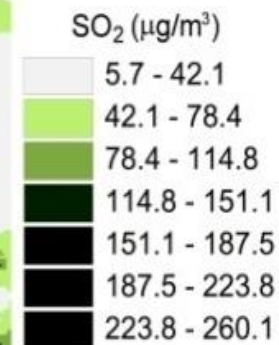
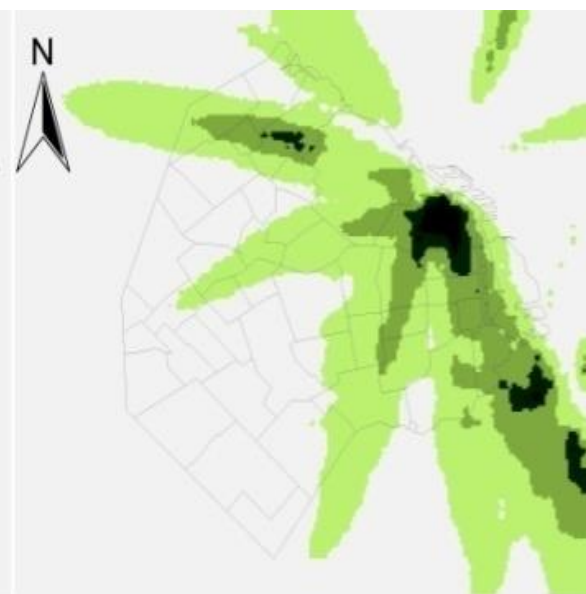
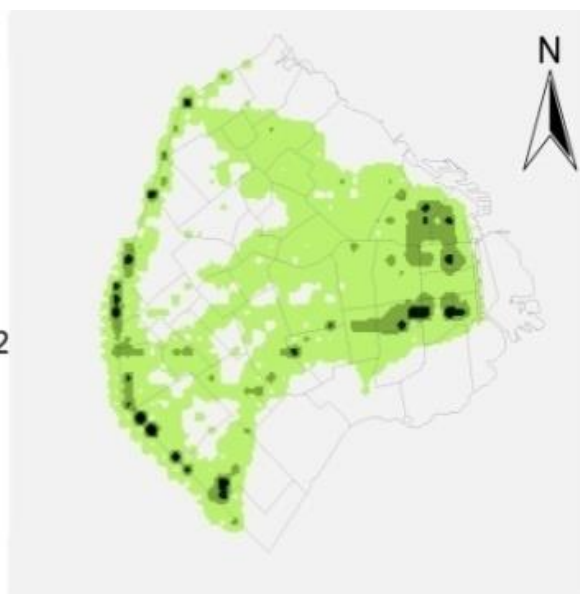
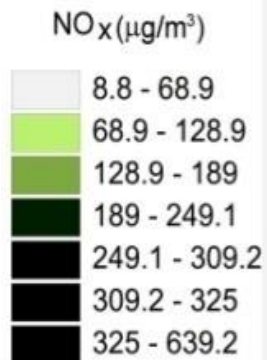
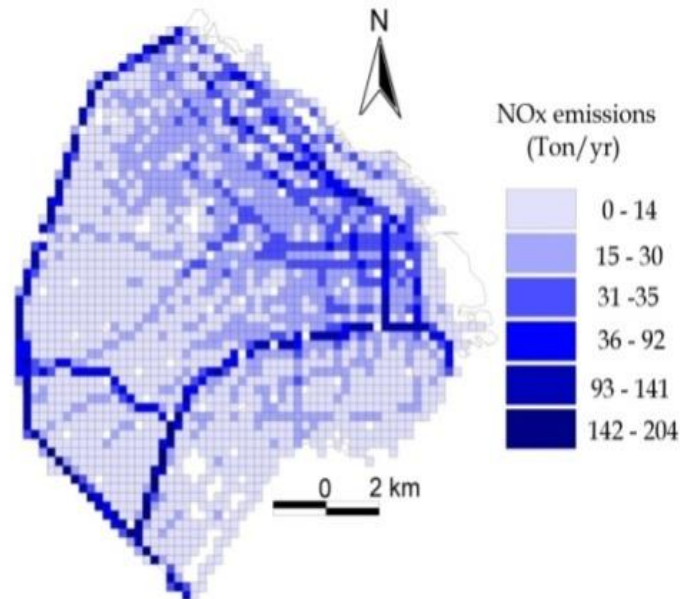
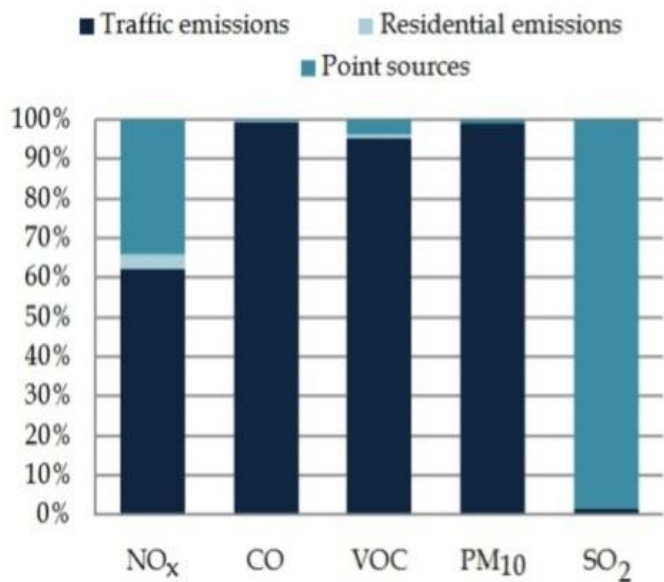
## Ejemplos de modelos de calidad del aire

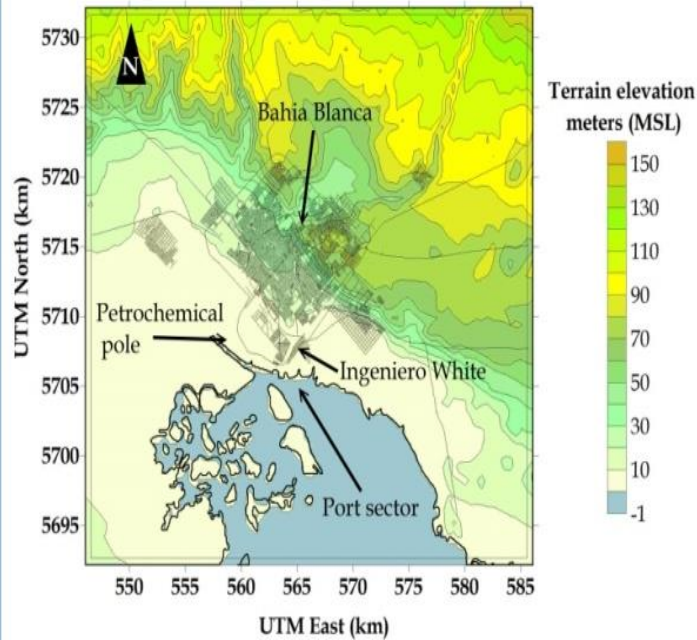
### Gran Mendoza



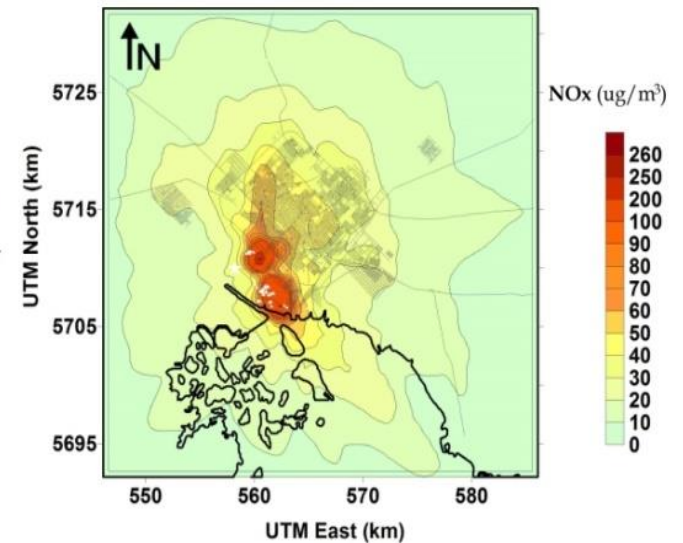
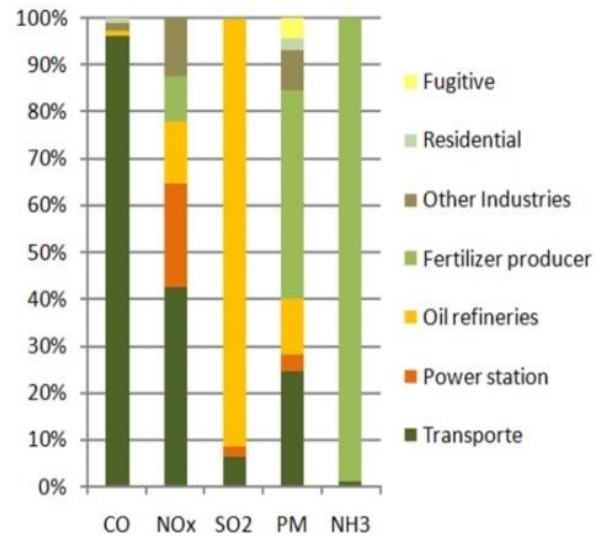


# Ciudad de Buenos Aires





## Ciudad de Bahía Blanca



---

# Conclusiones (1)

- Se presentaron dos enfoques de cálculo de las emisiones del transporte, concorde a su múltiples escalas temporal y espacial.
  - Se desarrolló un modelo de las emisiones del transporte a partir de información nacional integrada.
  - Estimó la evolución del consumo de combustible a partir del tipo de vehículos y uso del mismo, según composición modal.
  - Se estudiaron diversas opciones de cambios modales y nuevos tipos de vehículos híbridos
-

---

## Conclusiones (2)

- Se desarrolló un enfoque metodológico práctico del tipo “top-down” aplicado a la elaboración de un inventario regional de emisiones distribuido geográficamente.
  - Se implementó un Inventario de alta resolución proveniente del parque vehicular carretero para la República Argentina.
  - La comparación con bases internacionales mostró una mejor distribución espacial de las emisiones de GEI del sector transporte, conservando los valores totales a nivel nacional
  - Mejora del inventario de emisiones existente y posibilidad de aplicarlo posteriormente a un modelo regional de calidad del aire.
  - Metodología transferible a cualquier región o país, debido a la utilización de información básica y accesible para muchos países.
-

---

Gracias por su atención!

---

