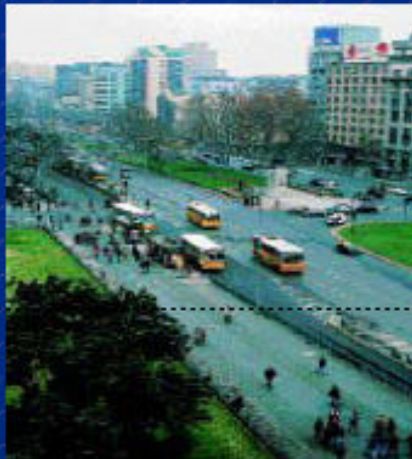


# ANÁLISIS DE SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO: *Una Introducción*



CI63D

SIMULACIÓN ESTRATÉGICA DE SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO

# **Contenido de la Presentación**

- I. Análisis de Transporte y Enfoque de Sistemas**
- II. ESTRAUS y la Planificación Estratégica de Sistemas de Transporte Urbano**
- III. Desafíos de la Planificación del Sistema de Transporte Urbano (el caso de Santiago)**
- IV. Conclusiones**

# **I. Análisis de Transporte y Enfoque de Sistemas**

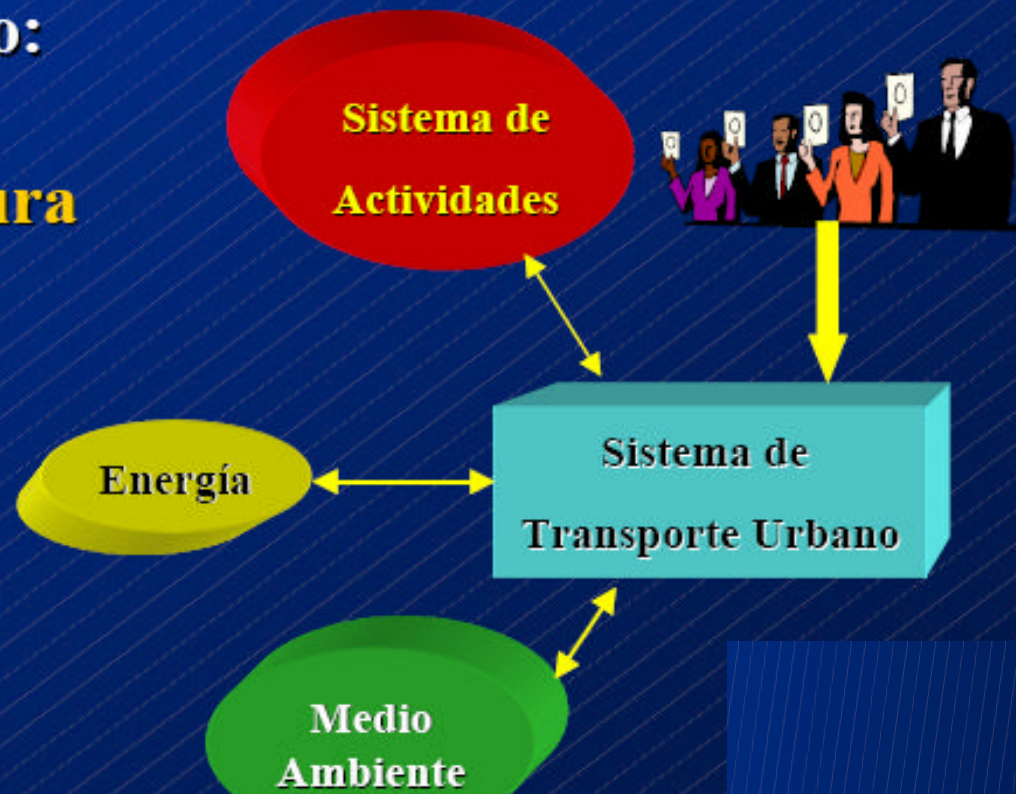
- **Sistemas, Modelos y Transporte**
- **El Rol del Modelo**
- **Las Preguntas Básicas del Análisis de Transporte**
- **Bondad Técnica y Función del Modelo.**



# Sistemas de Transporte Urbano

- **Elementos y actores del Sistema de Transporte Urbano:**

- **Infraestructura**
- **Vehículos**
- **Servicios**
- **Usuarios**
- **Operadores**
- **Autoridades**
- **.....**



# Sistemas, Modelos y Transporte

- **Objetivo del análisis técnico:** Entender y Explicar ciertos fenómenos que interesan por alguna razón .
- **Complejidad de la realidad y su fenomenología**
- **Artilugio:** Desagregar el problema original
  - ✓ en sub-problemas más simples y acotados
  - ✓ quizás entendiendo c/u por separado... podamos ayudar a clarificar el fenómeno global
- **El ejemplo inmediato:**
  - **el funcionamiento de la ciudad**

# Sistemas, Modelos y Transporte

- **Sistema:** Conjunto de elementos y relaciones que responden a una lógica de comportamiento común (propia) y objetiva



# Sistemas, Modelos y Transporte

- **Sistema de Transporte Urbano STU:** Conjunto de elementos físicos y operacionales: infraestructura, vehículos y servicios de transporte (componentes)
- **Objetivo del STU:** proveer movilidad a un conjunto de personas (usuarios) que necesitan viajar entre distintos puntos de la ciudad (**relaciones**)
- *¿Por qué la gente requiere viajar?*
- La demanda de transporte es *derivada*: beneficios asociados al destino y no al acto de viajar



# Sistemas, Modelos y Transporte

## Otras características del análisis de sistemas de transporte

### Multimodal:

*Considerar simultáneamente todos los modos de transporte*

### Multisectorial:

*Considerar perspectivas pública, privada, usuarios operadores, ciudadanos etc.*

### Multidisciplinario:

*Considerar simultáneamente aspectos de ingeniería, economía, ciencias sociales, gestión, legales, urbanísticos, medio ambiente, etc.*

# El Rol del Modelo

- **Definidos:** Los componentes y relaciones de un sistema
- **Siguiente paso:** Explicar el comportamiento del sistema



# Sistemas de transporte: Técnicas de modelación

Spatial structure → Necessities → Modes → Operations



- Modelos de comportamiento: demanda y patrones de equilibrio
- Dimensiones espacial y temporal
- Interacción con uso de suelo
- Interacción entre usuarios y servicios (operadores)
- Firmas de transporte (estructura industrial y producción)

# Sistemas de transporte: Técnicas de modelación

## Enfoques de modelación

- Equilibrio estático o dinámico
- Enfoques determinista y estocástico
- Optimización
- Simulación

## Calibración y uso de modelos

- Escala (macroscópica, mesoscópica, microscópica)

# Clasificación de modelos y su uso

## □ Modelos macroscópicos:

- ESTRAUS
- SATURN

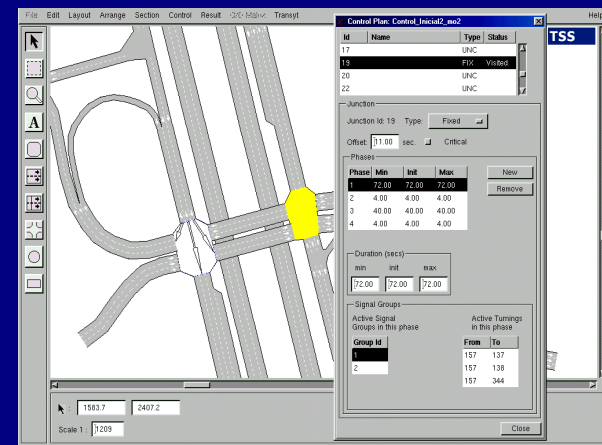
## • Modelos mesoscópicos:

- TRANSYT
- DYNASMART

## • Modelos microscópicos:

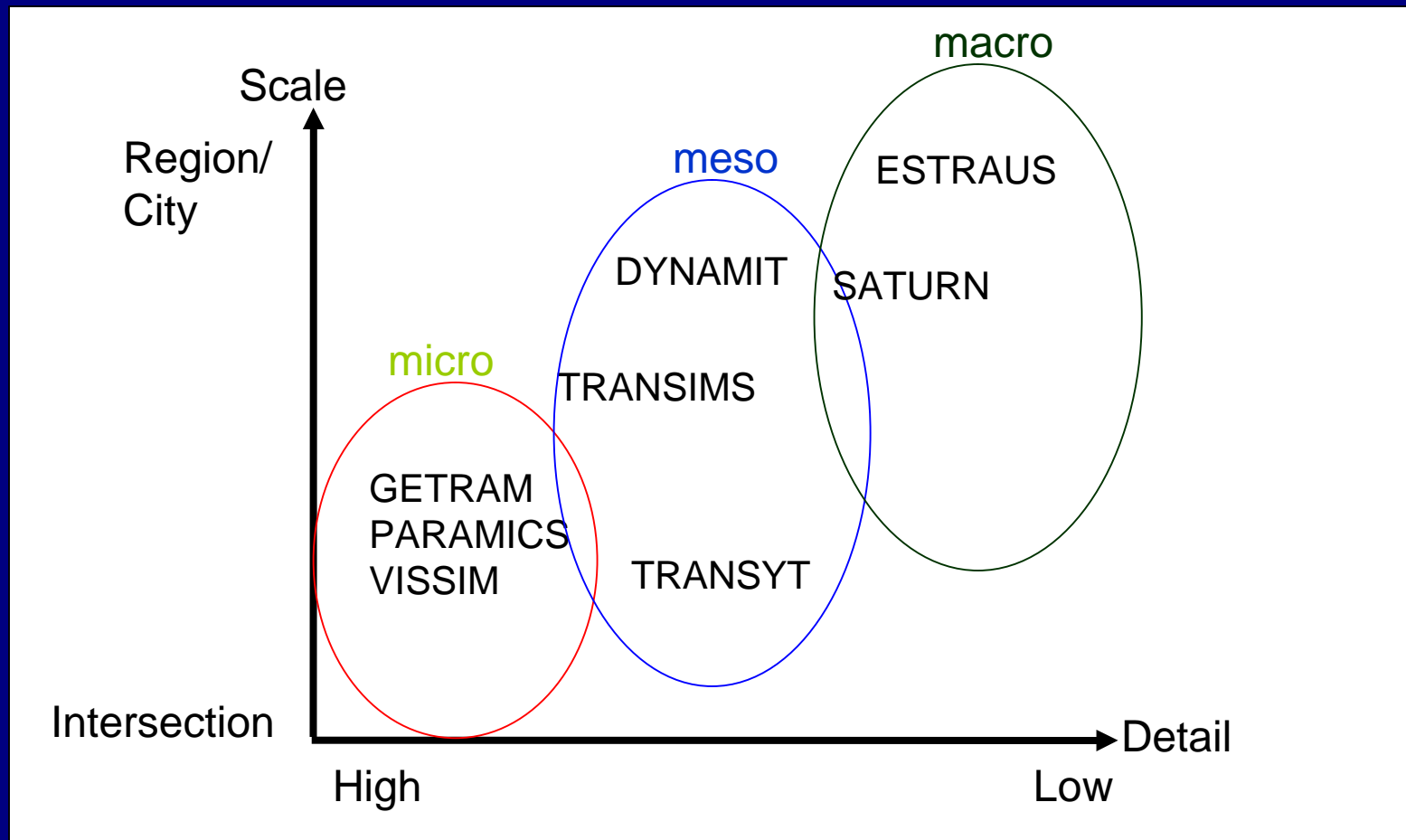
- GETRAM
- PARAMICS
- VISSIM

-  
Detail  
+



# Clasificación de modelos y su uso

- Trade-off entre escala de aplicación y nivel de detalle



# El Rol del Modelo

- *Tarea central del modelo estratégico de transporte:*  
*Simular adecuadamente el comportamiento del sistema de transporte (su operación o funcionamiento) explicando y cuantificando sus relaciones internas.*

## Las Preguntas Básicas del Analista de Transporte

Generación y  
Atracción de Viajes

Distribución

Partición Modal

Asignación



## **La “bondad técnica” del modelo de transporte**

- **Capacidad para reproducir “adecuadamente” la operación “actual” (observable) del STU**
  - ✓ **Dentro de un contexto geográfico-espacial (área)**
  - ✓ **Dentro de un contexto temporal (períodos)**
  - ✓ **Dentro de un escenario cultural, social, económico, urbano....**
- **Variables de “chequeo” del STU:**
  - ✓ **flujos entre zonas por modo de transporte**
  - ✓ **flujos en los arcos de las redes**

## Función esencial de un modelo estratégico de transporte urbano:

- Predecir el futuro: Predecir el equilibrio operacional del sistema de transporte urbano:
  - Frente a cambios estructurales de sus elementos
  - En distintos períodos del día
  - En distintos cortes temporales futuros
- Ello depende de condiciones previas
  - Teoría conceptual de la fenomenología modelada
  - Teoría del comportamiento de los individuos
  - Disponibilidad de información
  - Capacidades informáticas



## **II. ESTRAUS y la Planificación Estratégica de Sistemas de Transporte Urbano**

- **La estructura del Modelo Clásico de Transporte y problema de inconsistencia interna**
- **Las características Básicas de ESTRAUS**
- **Los Modelos y Planificación**

## Las Preguntas Básicas del Analista de Transporte

Generación y  
Atracción de Viajes

Distribución

Partición Modal

Asignación



## Área de Estudio y Zonificación



(faltan 30 láminas)

D  
E  
M  
A  
N  
D  
A

## MODELOS DE GENERACIÓN

$$O_i = g(H_i, I_i \dots)$$

$$D_j = g(O_j, W, E_j \dots)$$

## MODELO DE DISTRIBUCION

$$V_{ij} = g(C_{ij})$$

## MODELO DE PARTICIÓN MODAL

$$T_{ij}^m = g(C_{ij}^m)$$

O  
F  
E  
R  
T  
A

## MODELO ASIGNACION TRANSPORTE PRIVADO

$$f_a^p, C_a^p$$

## MODELO ASIGNACION TRANSPORTE PÚBLICO

$$f_a^b, C_a^b$$



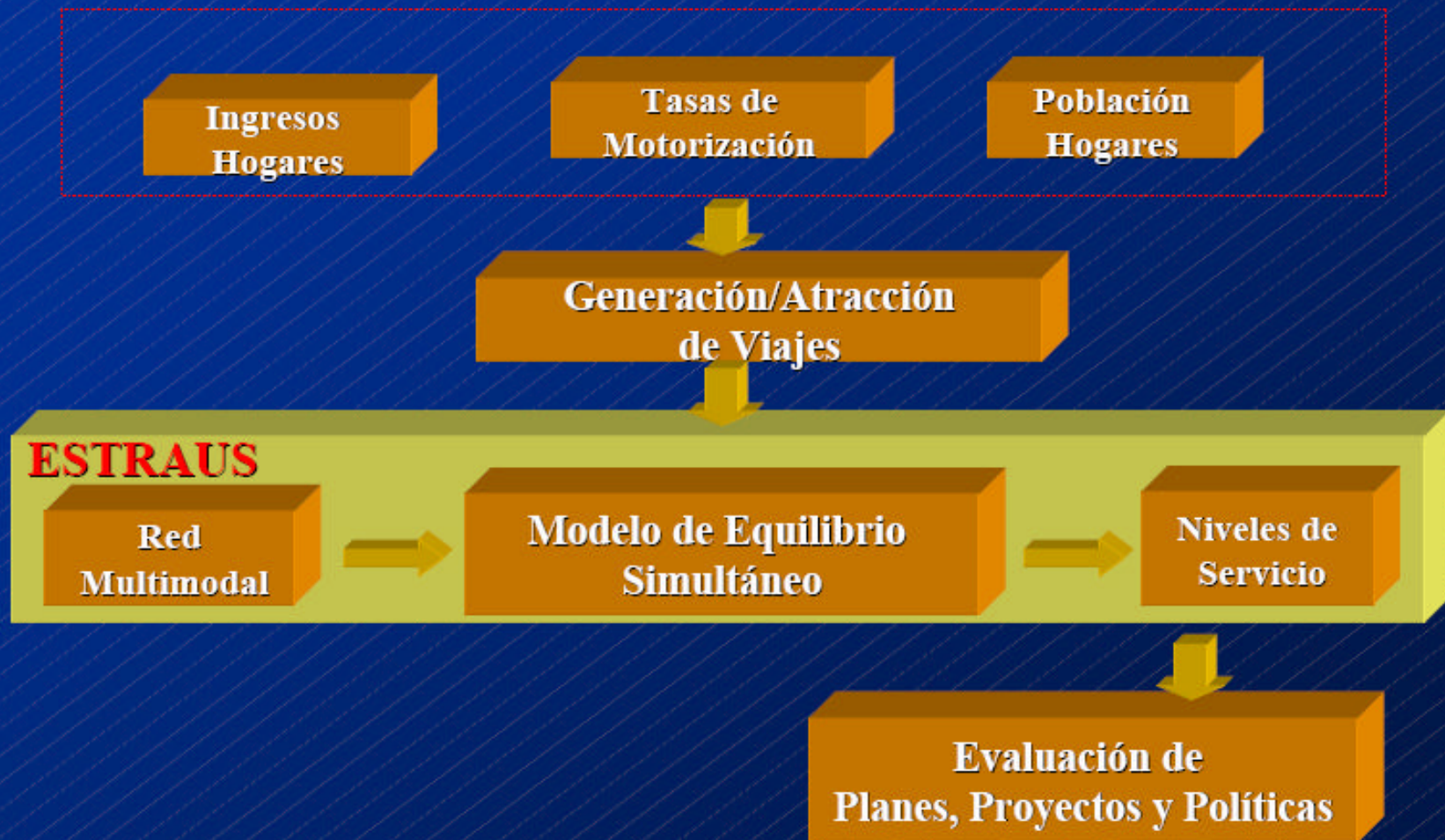
# Modelo de Equilibrio Secuencial de Transporte de Cuatro Etapas (VIVALDI)

- Equilibrio Secuencial Generación - Distribución - Partición Modal - Asignación
- Múltiples Clases de Usuarios (ingreso, disponibilidad de automóvil, propósito de viaje)
- Red Multimodal, Multiusuarios
- Congestión en todas las Redes y Restricción de Capacidad en Transporte Público
- Modelos de Generación-Atracción de Viajes: Métodos ACM y RLM · Modelo de Distribución de Viajes: Maximización de Entropía Doblemente Acotado
- Modelo de Partición Modal: LOGIT Jerárquico
- Asignación de Equilibrio Determinístico en Redes de Transporte Público y Privado
- Algoritmo de Solución: Secuencial
- Edición Interactiva de Redes y Análisis de Resultados con GIS (Módulo ARRAU: versión actual usa TransCAD)
- Evaluación Económica (Módulo VERDI)

# Características Básicas de ESTRAUS

- Se supera el problema de la inconsistencia interna del modelo clásico resolviendo simultáneamente la etapas de distribución-partición modal-asignación
- **→ Nueva formulación matemática del problema de transporte: desigualdad variacional**
- ESTRAUS es un modelo multimodal y multiclase de equilibrio oferta demanda de transporte
- **Asignación transporte público con restricción de capacidad**
  - Una metodología matemática explícita
  - Equilibrio en redes de transporte público

## ESTRAUS en el Proceso de ilustración técnica



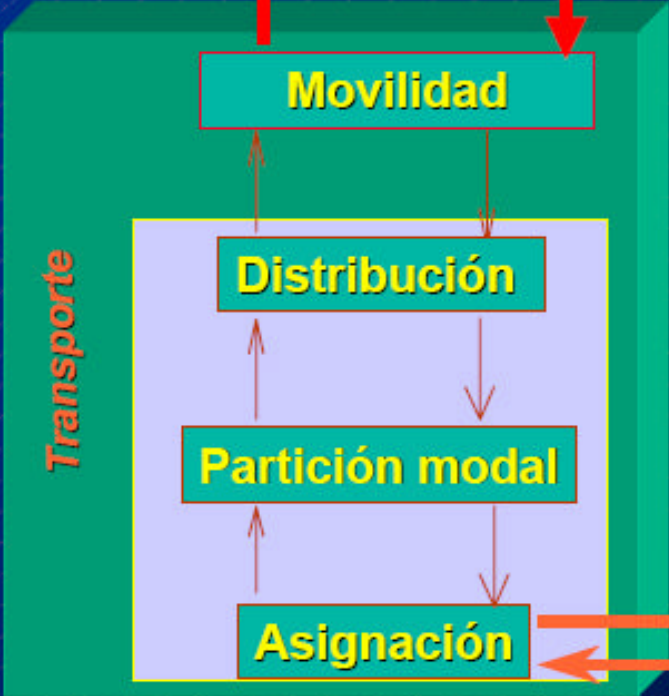
## Proyectos Evaluados con ESTRAUS

- **Evaluación social Línea 5 Metro**
- **Evaluación Plan de Expansión Red de Transporte Masivo**
- **Evaluación de autopistas urbanas concesionadas (Costanera Norte – Sistema Norte – Sur, A. Vespucio)**
- **Evaluación Social de Planes Estratégicos para Santiago**
- **Análisis políticas tarifarias transporte público en Santiago**
- **Análisis Red Vial de Emergencia Ambiental (2000)**
- **Análisis Plan de de Medidas Inmediatas (2001)**



(faltan 25 láminas)

# Modelacion de Actividades, Transporte y Ambiente



## MODEM

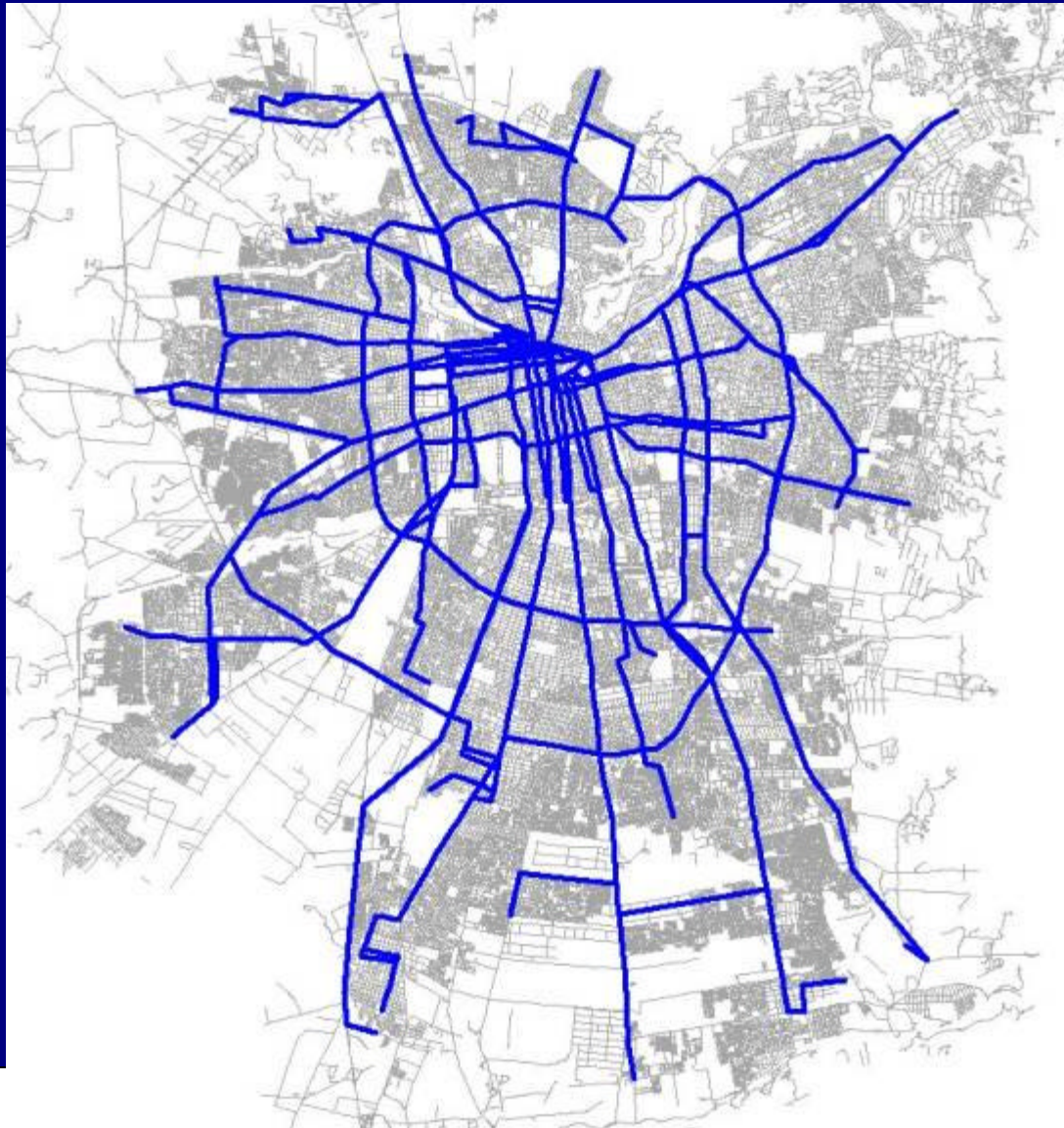
### **III. Desafíos de la Planificación del Sistema de Transporte Urbano**

- **Elementos de Diagnóstico**
- **El Plan de Transporte Urbano de Santiago**
- **ESTRAUS y el PTUS**

## Sistema de Transporte Urbano de Santiago

→ Población:	<i>6 millones de habitantes</i>
→ Economía:	<i>47 % del PGB nacional</i>
→ Buses Urbanos:	<i>8.000 buses</i>
→ Líneas de Buses:	<i>354 líneas (343 licitadas)</i>
→ Líneas de Metro:	<i>3 líneas (40 Klms.)</i>
→ Automóviles	<i>800.000</i>
→ Tasa Motorización	<i>135 veh/1000 hab. (20 a 400 )</i>

# Principales ejes viales



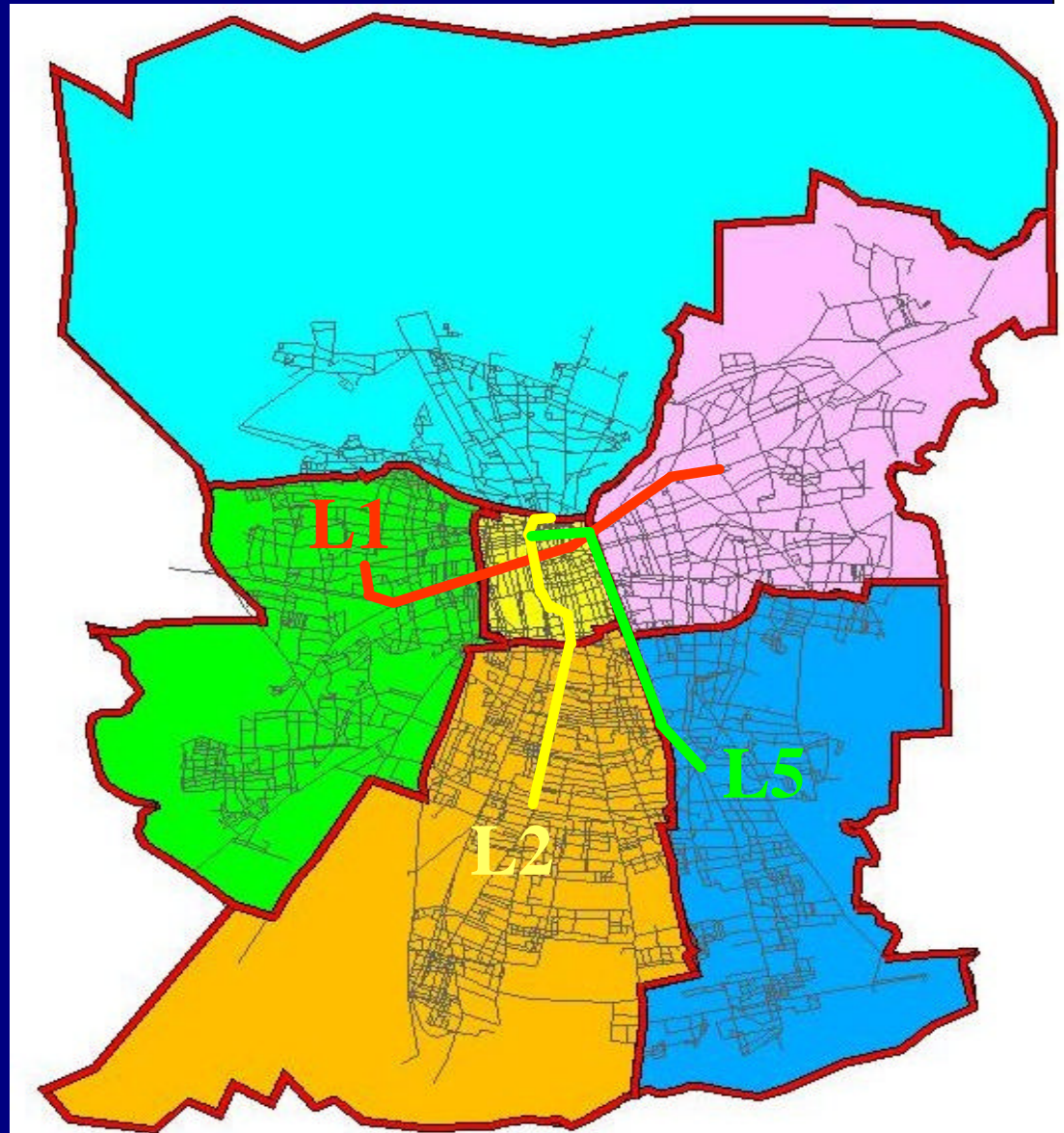
# Sistema de buses (2001)

- 380 líneas
- Gran cobertura espacial y altas frecuencias
- 0,1 transbordos/viaje
- 8.000 buses
- 4.000 “compañías”
- Sin subsidio operacional
- Oferta no competitiva
- Mantención deficiente
- Sistema con fuertes externalidades (contaminación, inseguridad)
- 82 km vías exclusivas en punta mañana



# Sistema de Metro

- 3 líneas
- Largo total: 38 km
- Altas frecuencias
- Empresa “Pública”
- No subsidio operacional



# Viajes Totales (día laboral )

Total:

16.481.043

||

Viajes motorizados:

10.147.247

+

Viajes no motorizados :

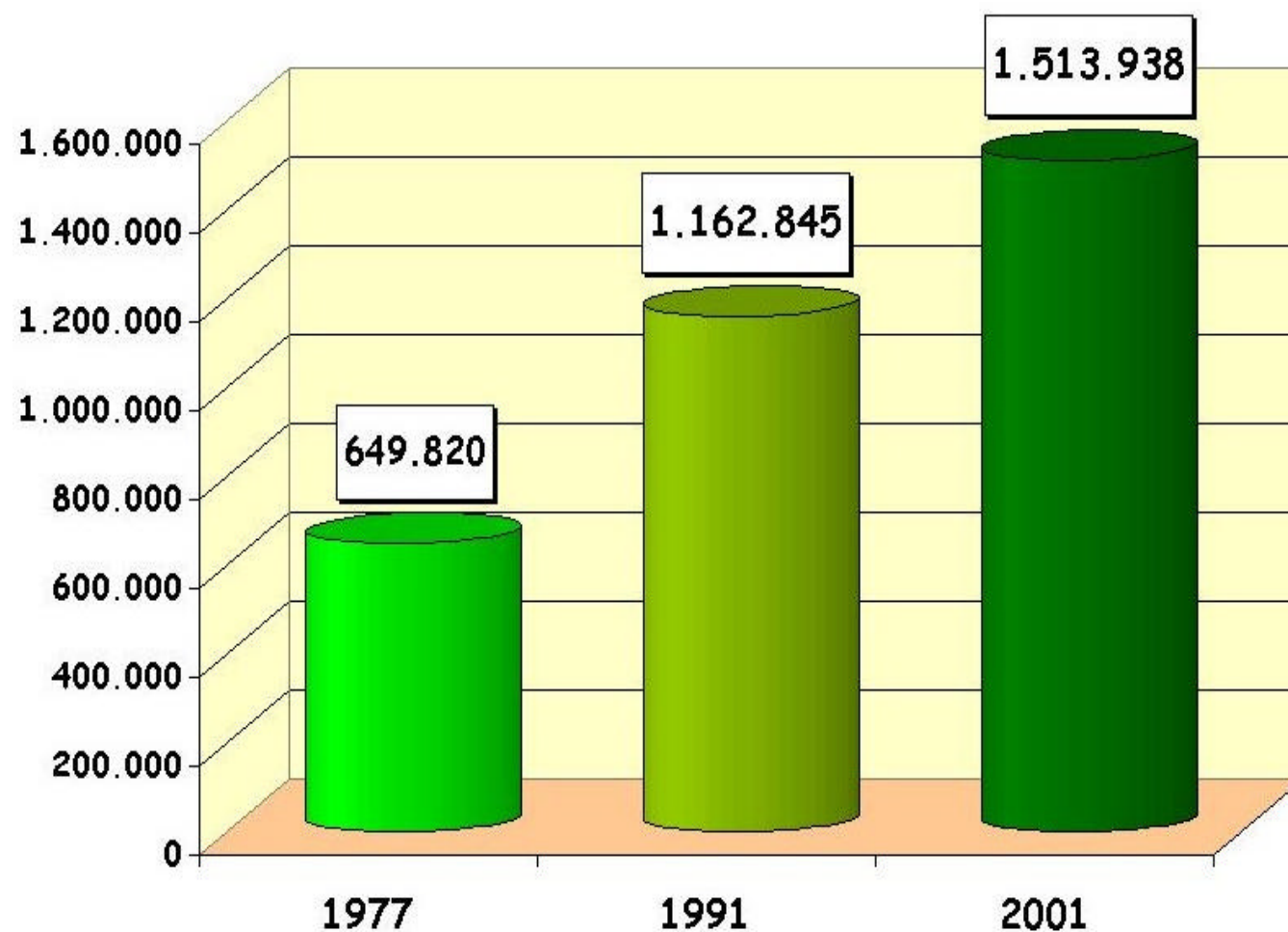
6.333.796

· caminata  
· bicicleta

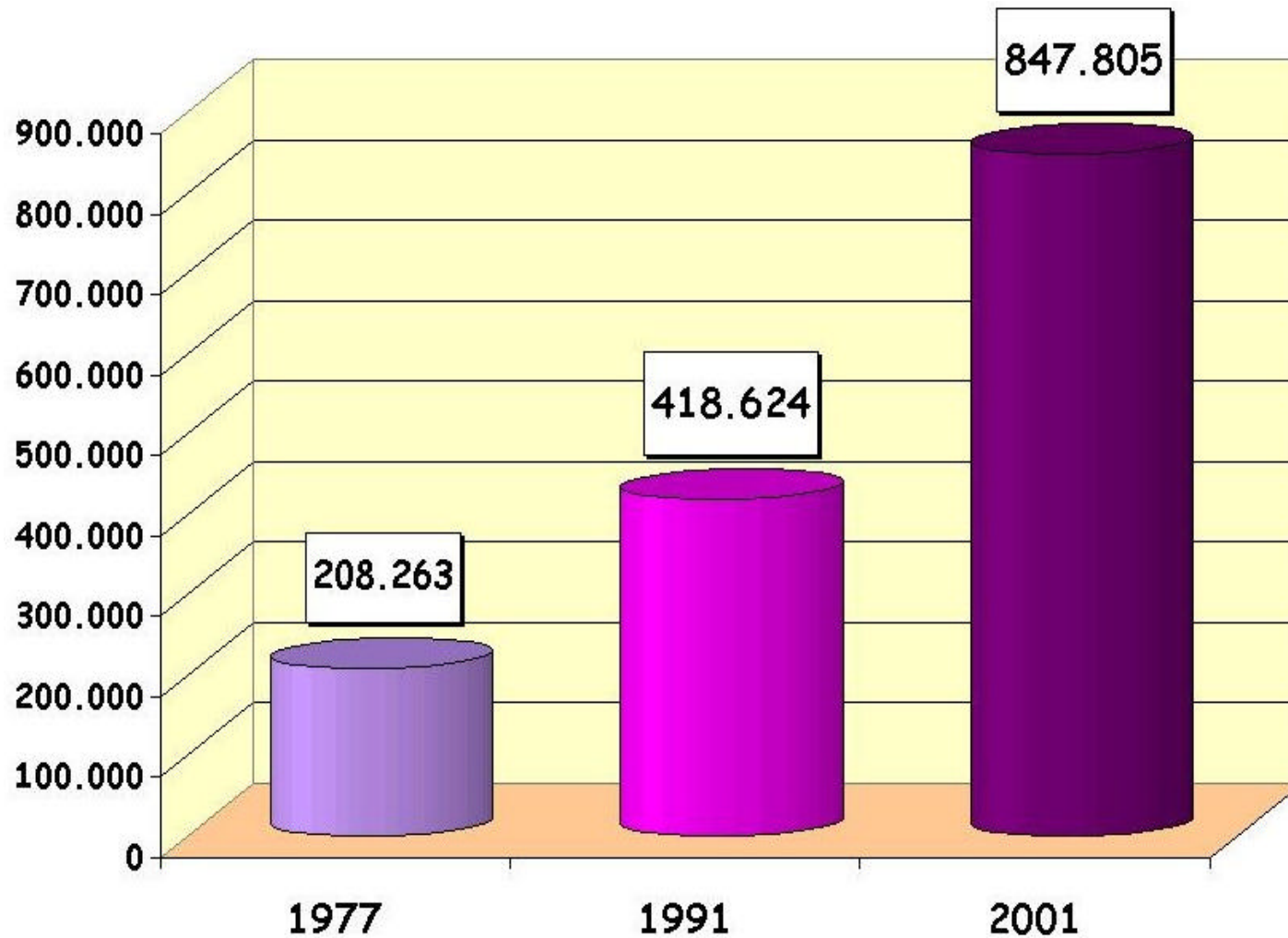
## **Contexto de Planificación de la STU**

- **Fenomenología común en Latinoamérica**
- **Decadencia del Transporte Público**
- **Partición Modal, Desarrollo Económico y Tasa de Motorización**
- **Distribución Urbana Inorgánica**
- **Nuestra “especificidad”: el problema ambiental**

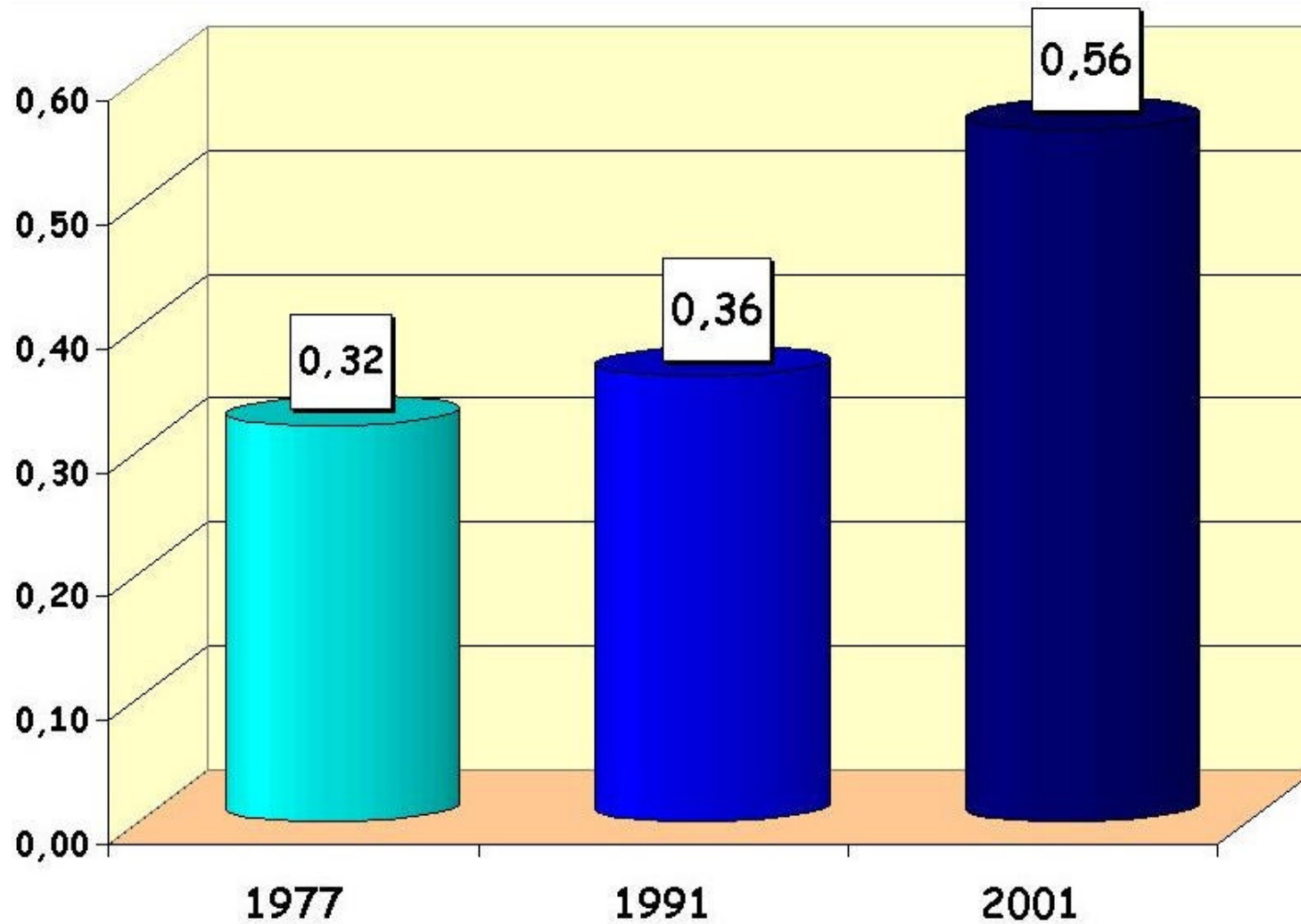
# Número de hogares



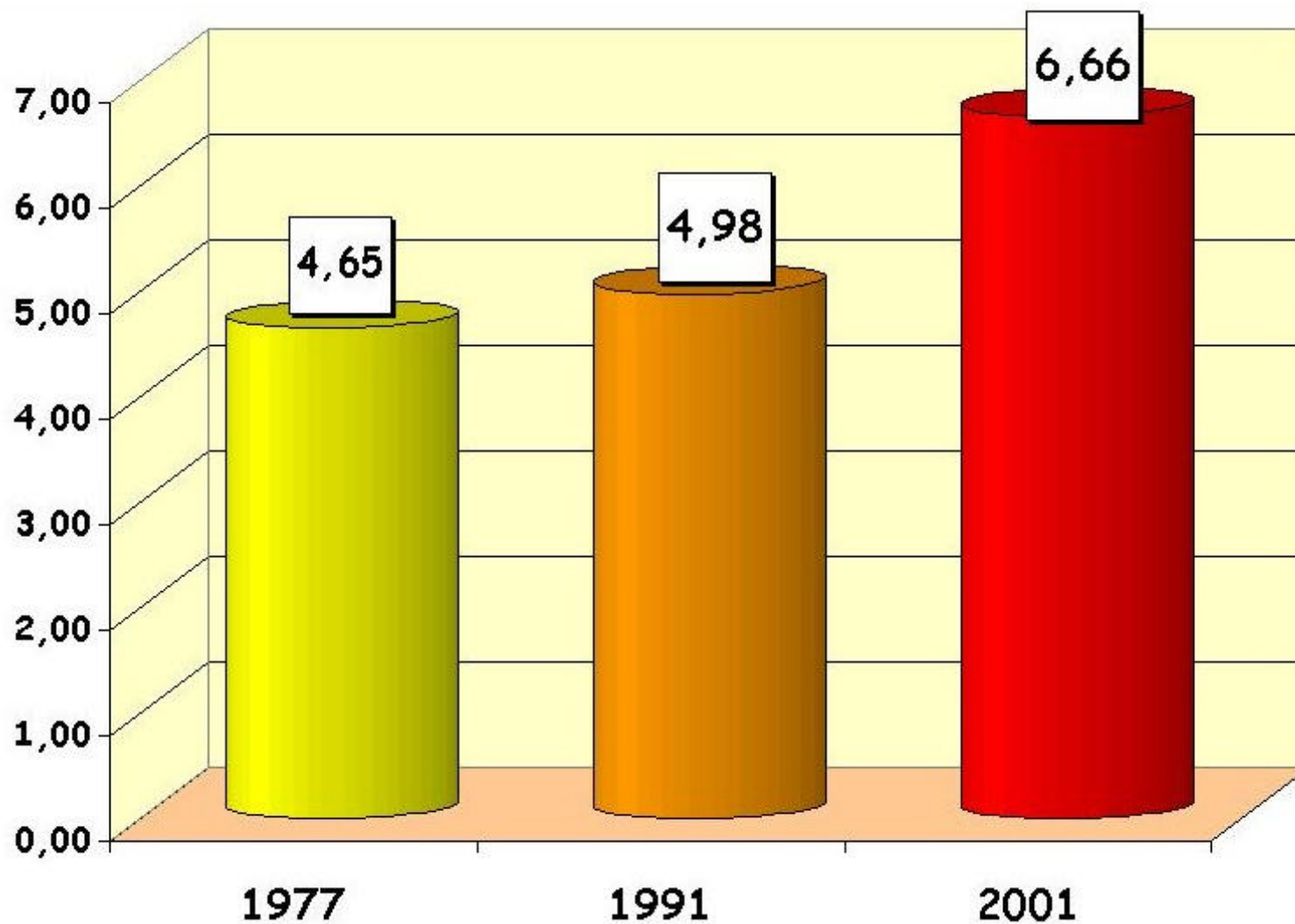
# Número de autos



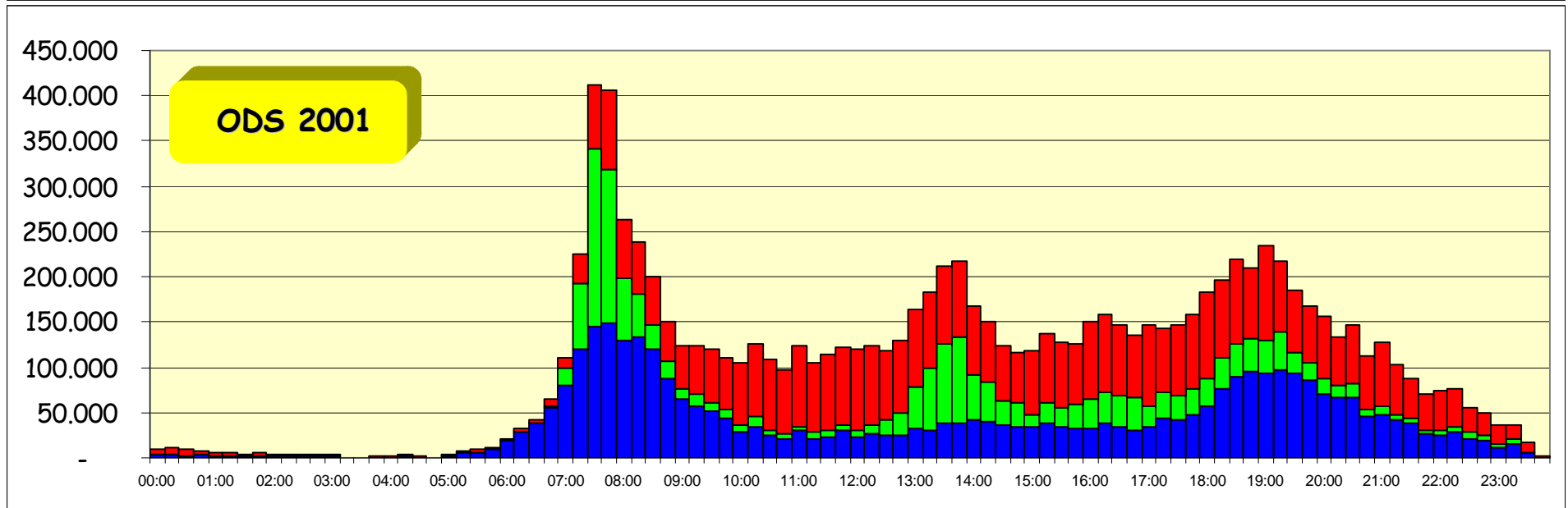
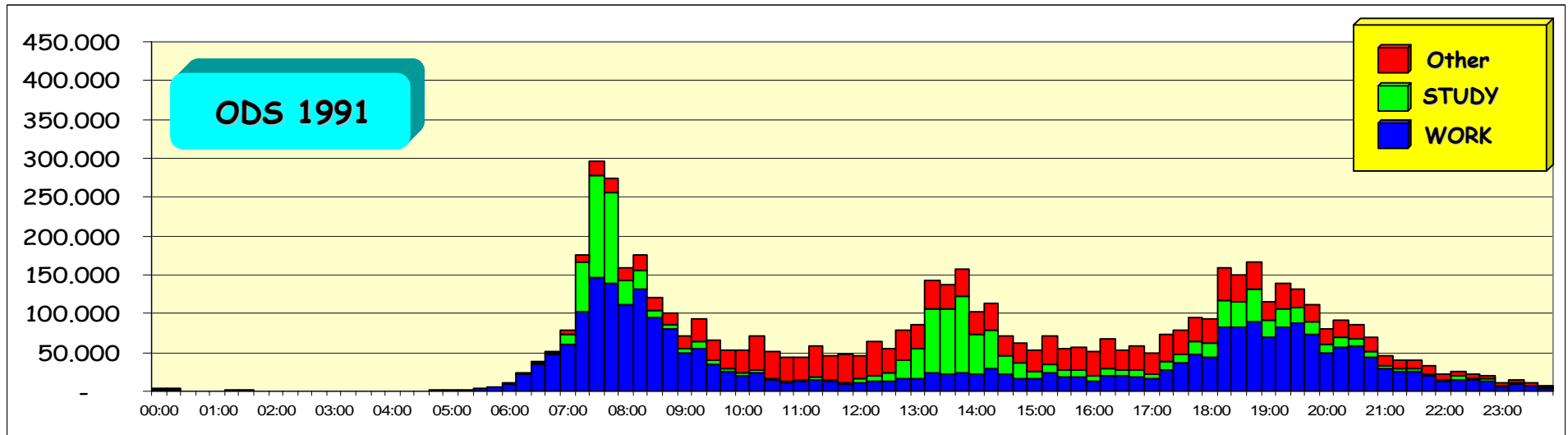
# Autos por hogar



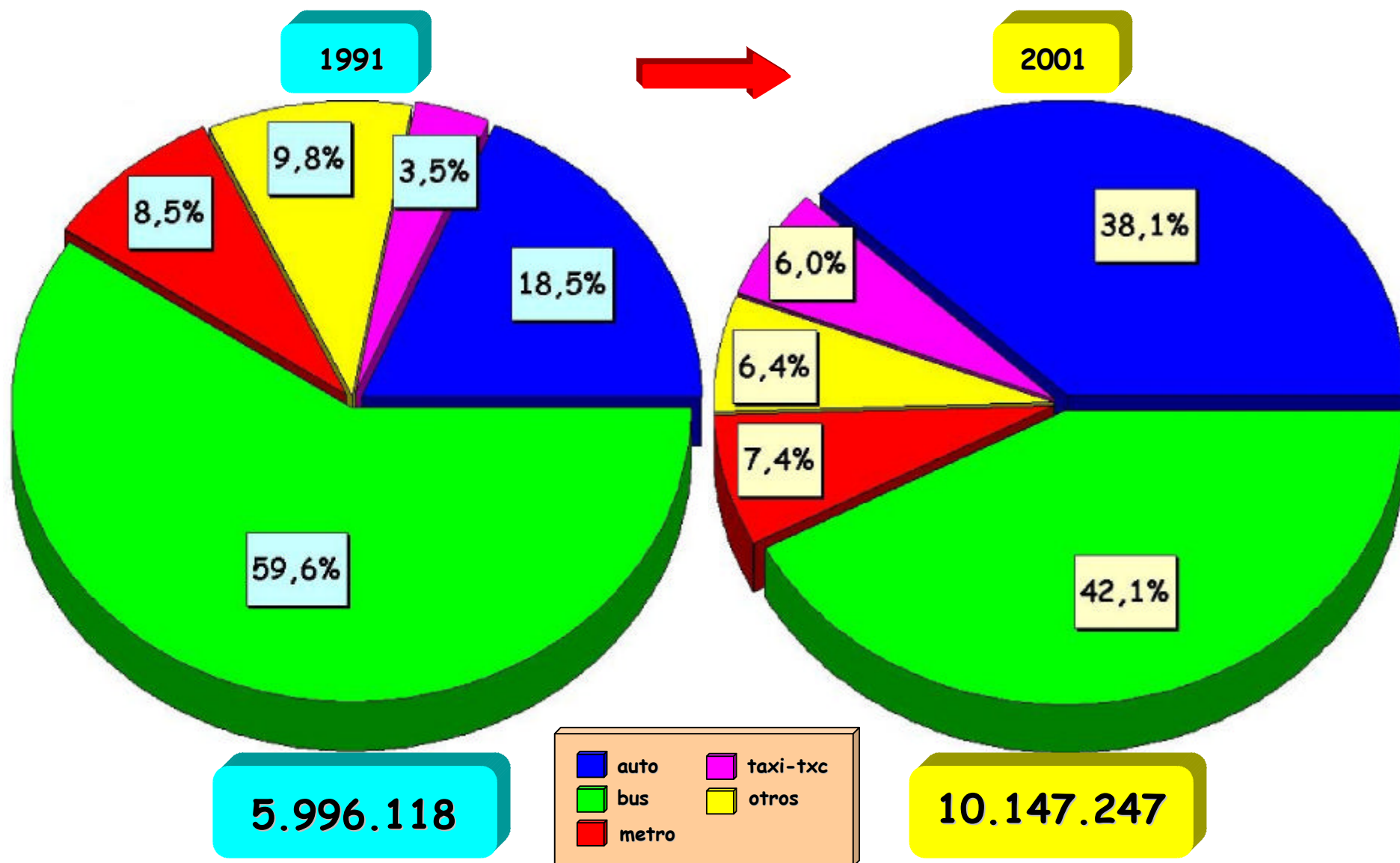
# Evolucion de generación de viajes motorizados por hogar



# Histograma evolución propósito viajes motorizados (día laboral)



# Evolución de la partición modal de viajes motorizados (día laboral)

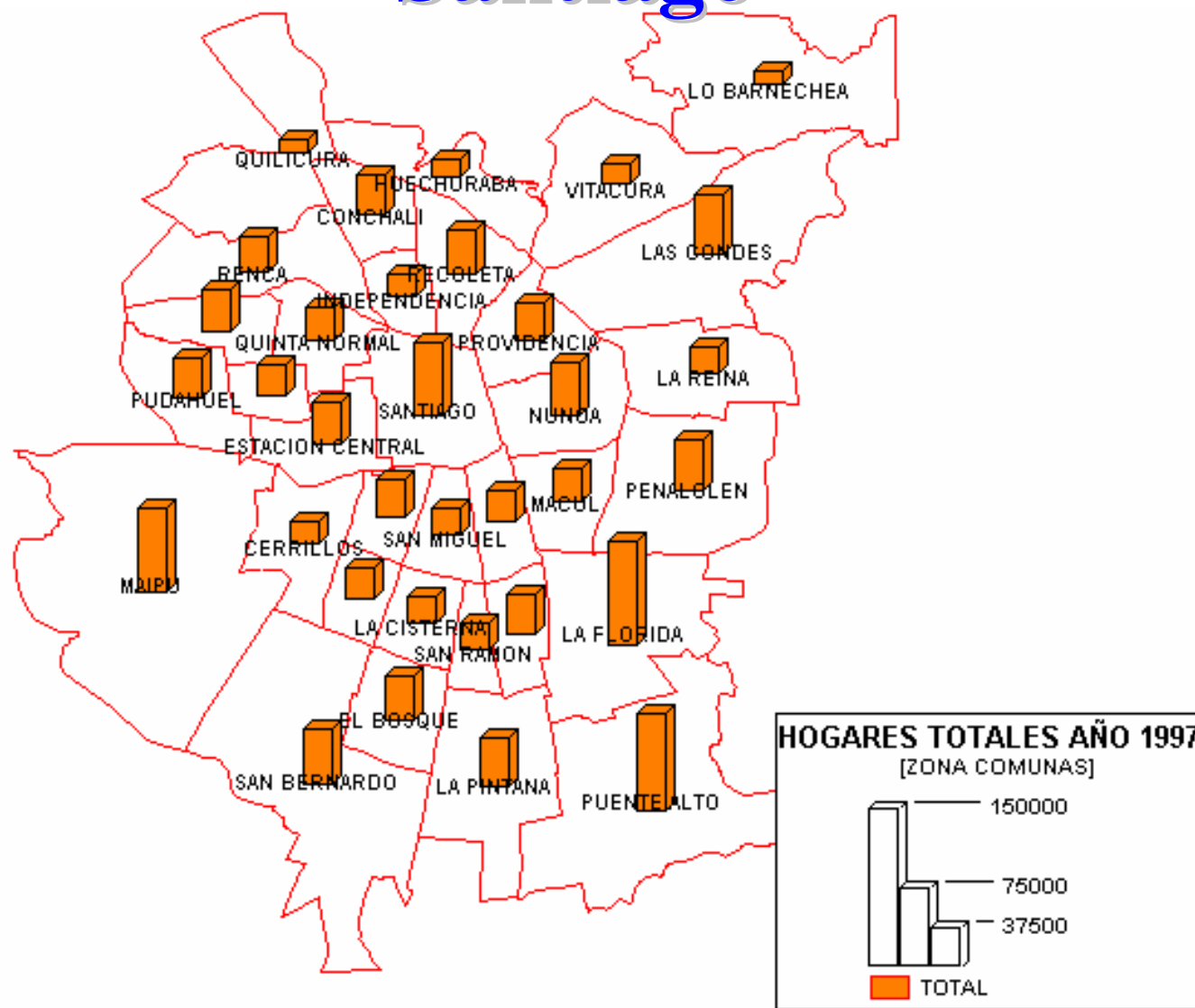


# Problema: Localización De Hogares y Actividades:

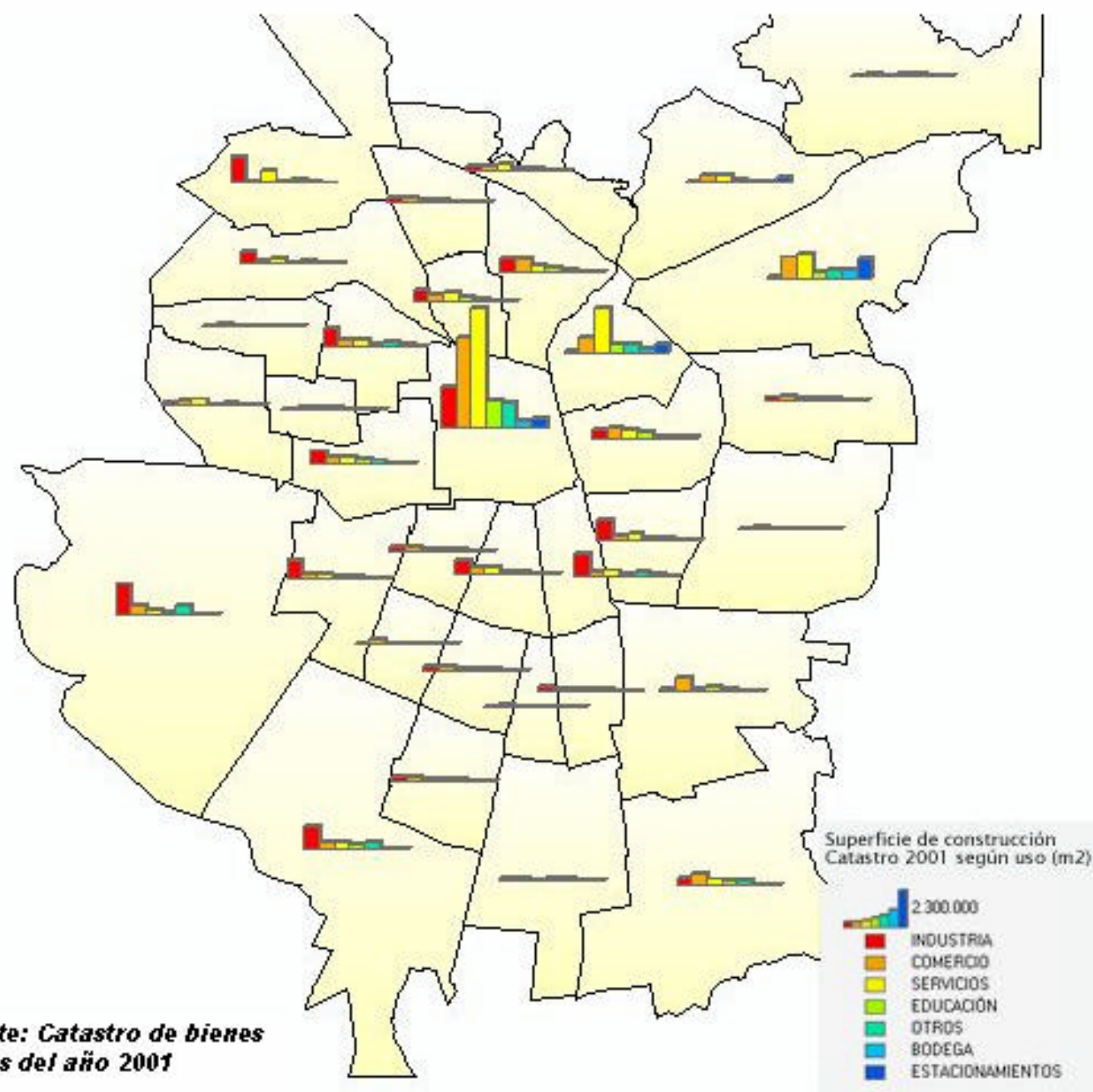


(faltan 17 láminas)

# Total de hogares en Santiago

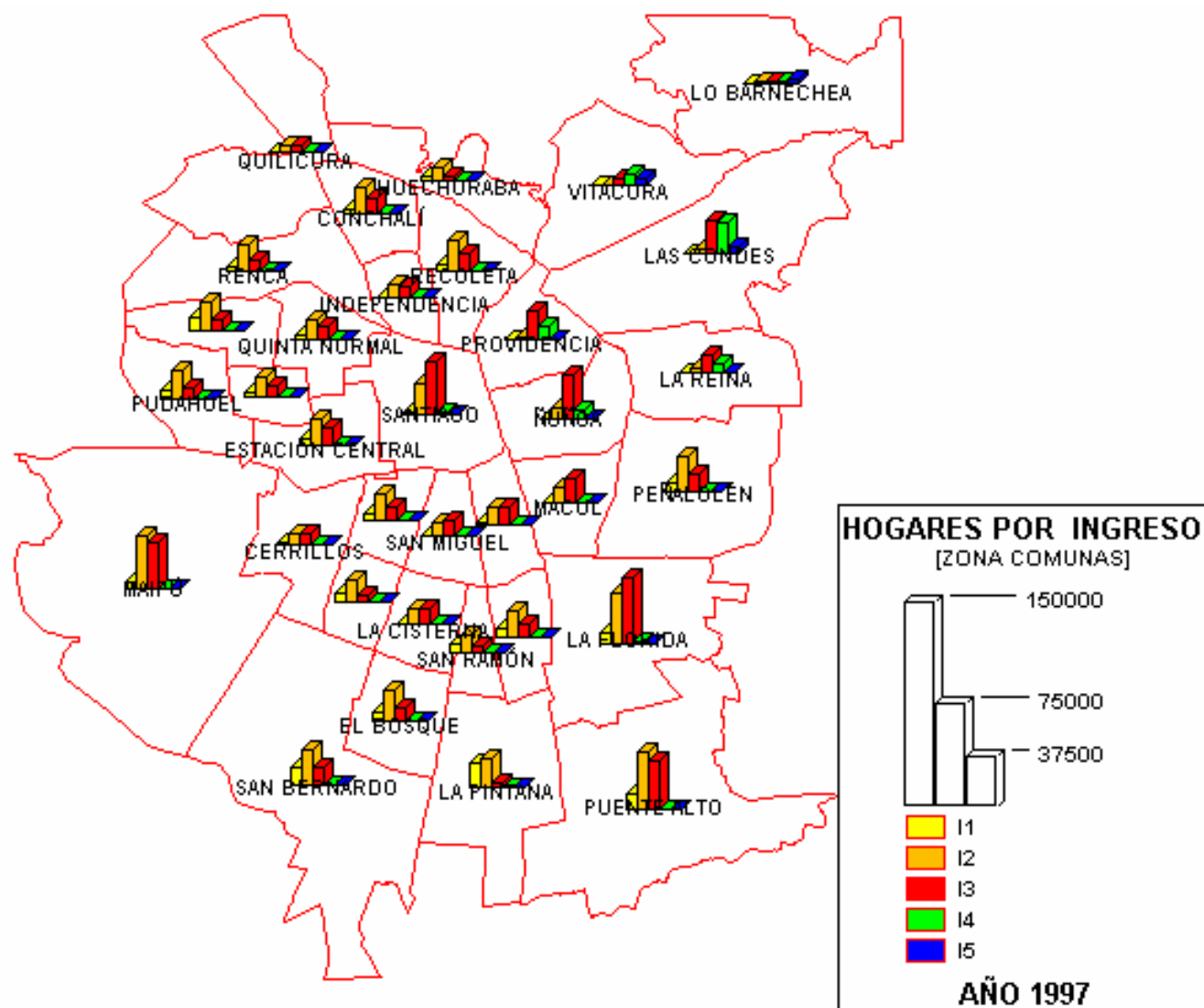


## *Superficies construidas según comuna y destino de la construcción del 2001*

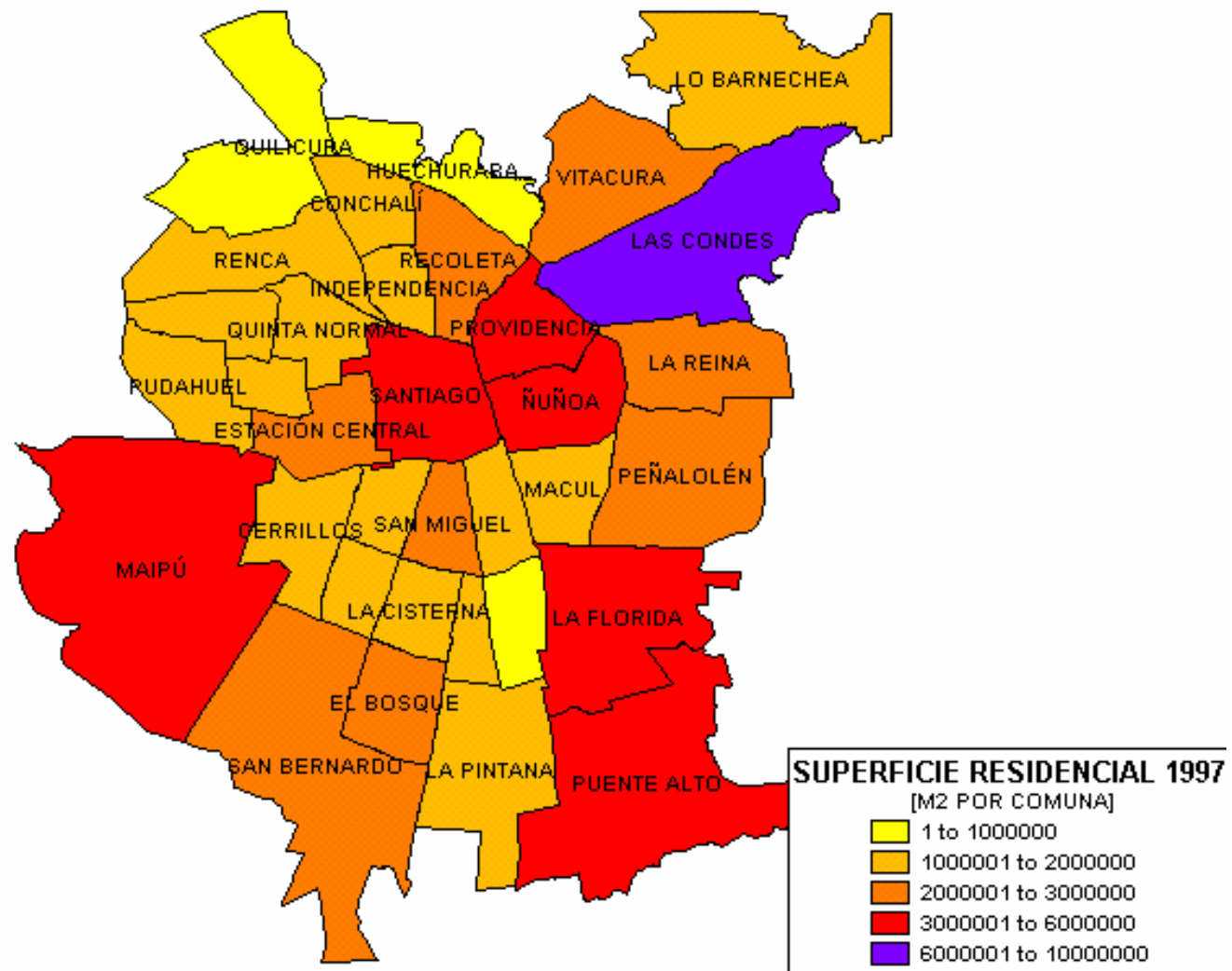


*Fuente: Catastro de bienes raíces del año 2001*

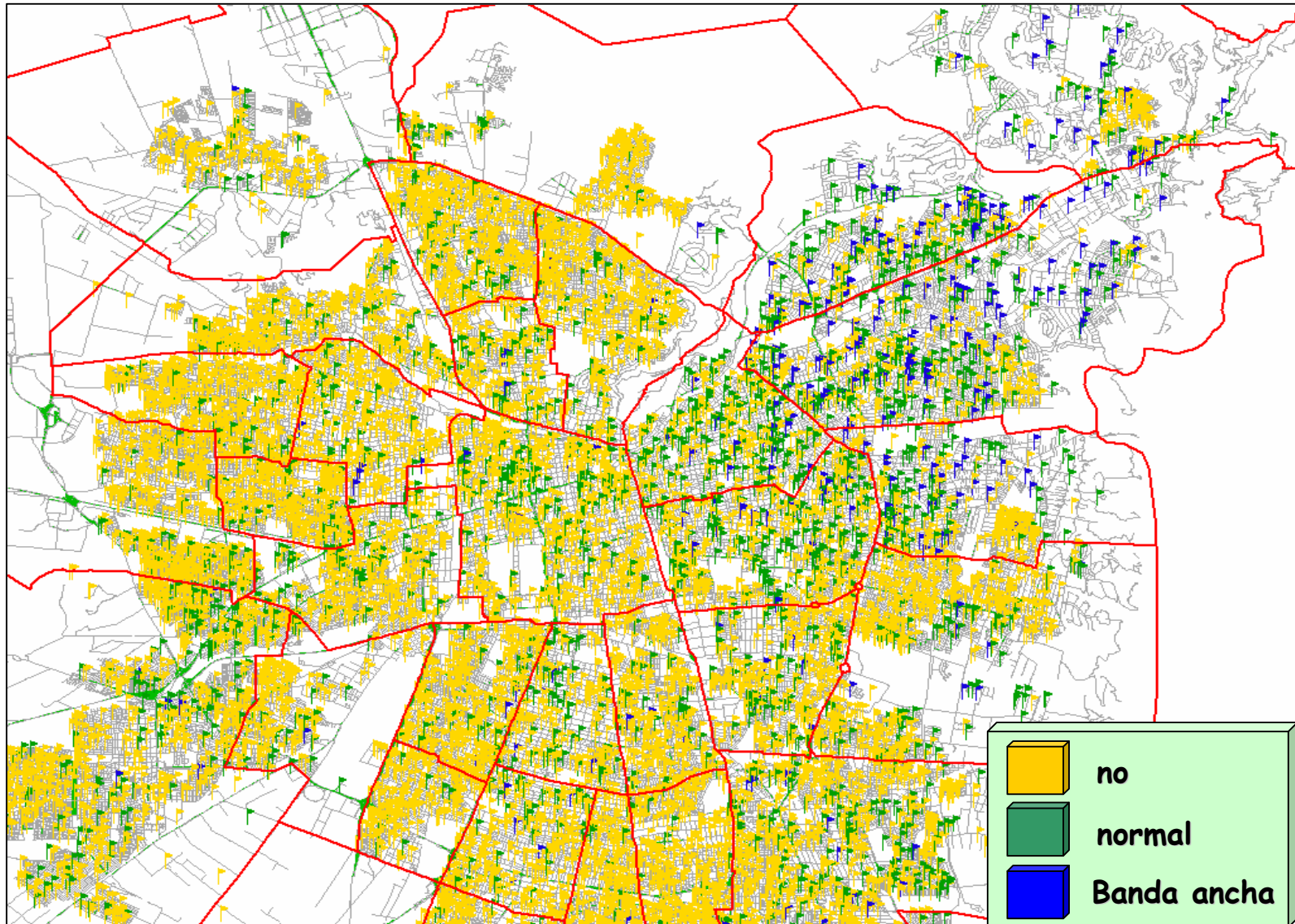
# Distribución Espacial Ingreso



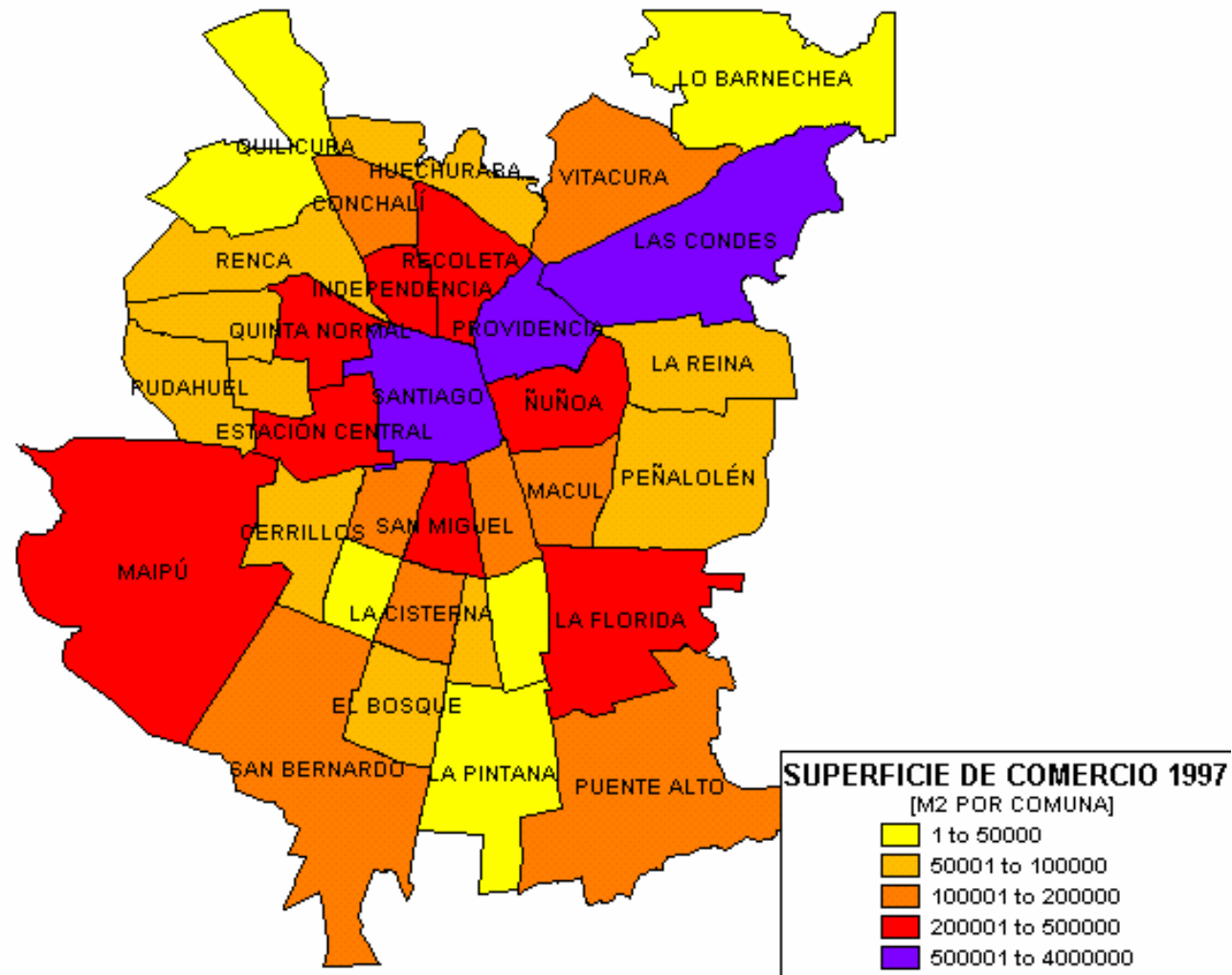
# Area Residencial



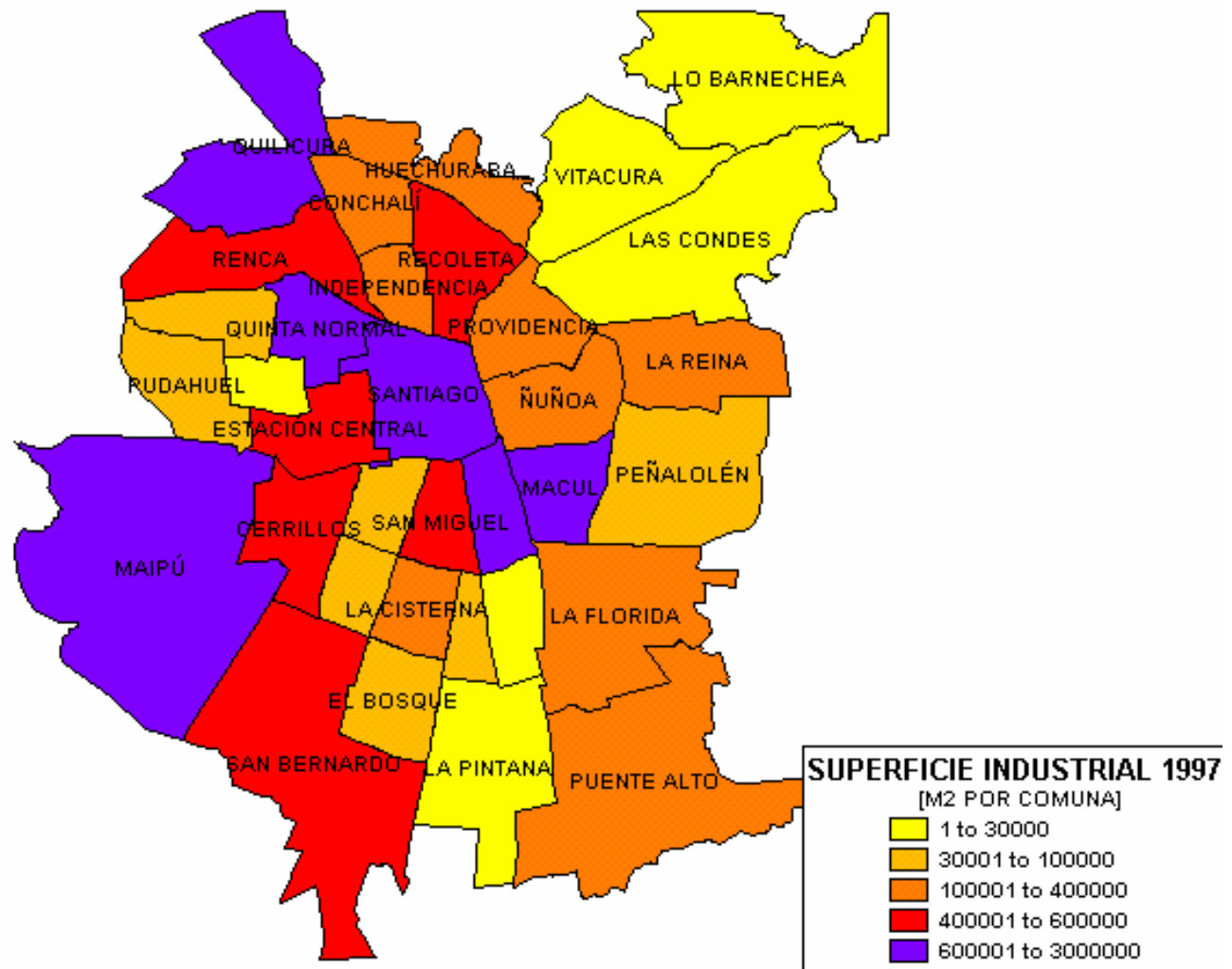
# Internet en los hogares



# Area Comercial (minorista)



# Area Industrial

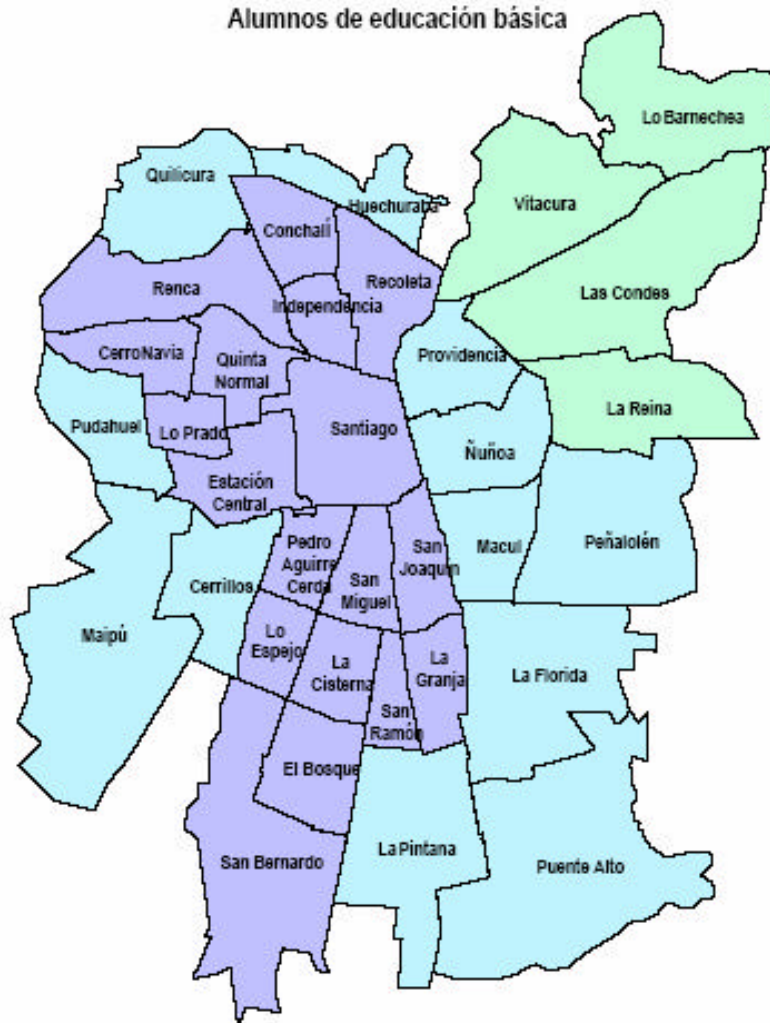


# Problema: Localización de la Educación

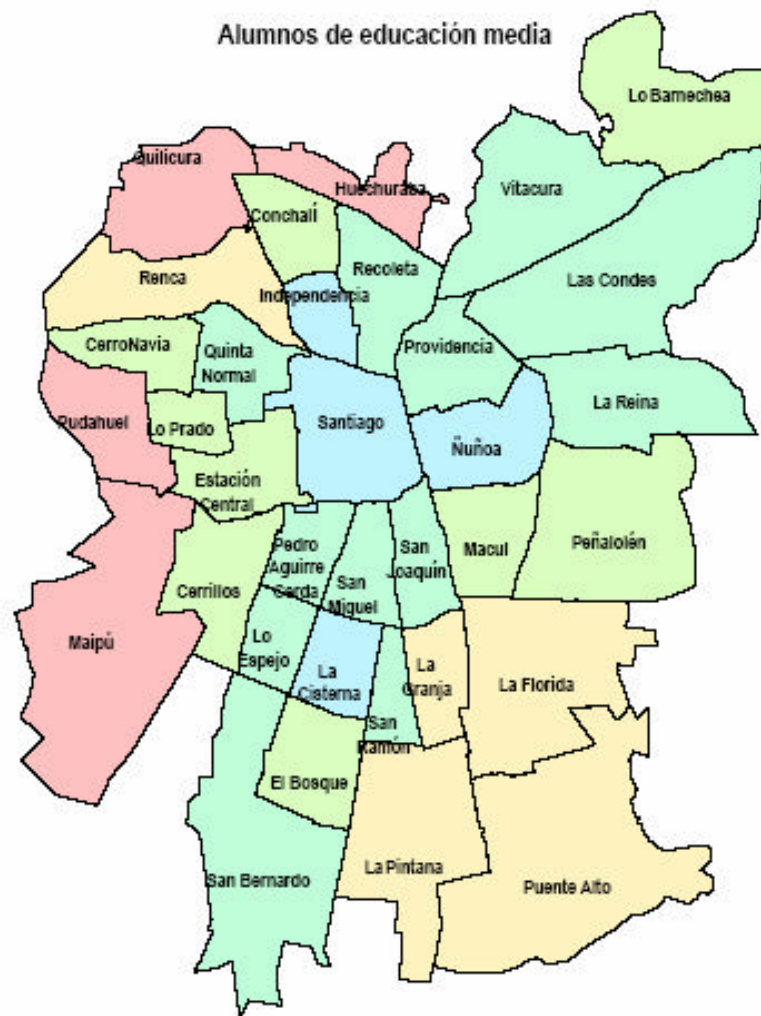


## Déficit y Superávit Matricula Alumnos de 14 a 17 años

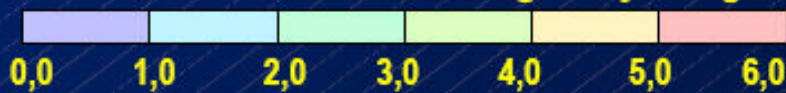
Alumnos de educación básica



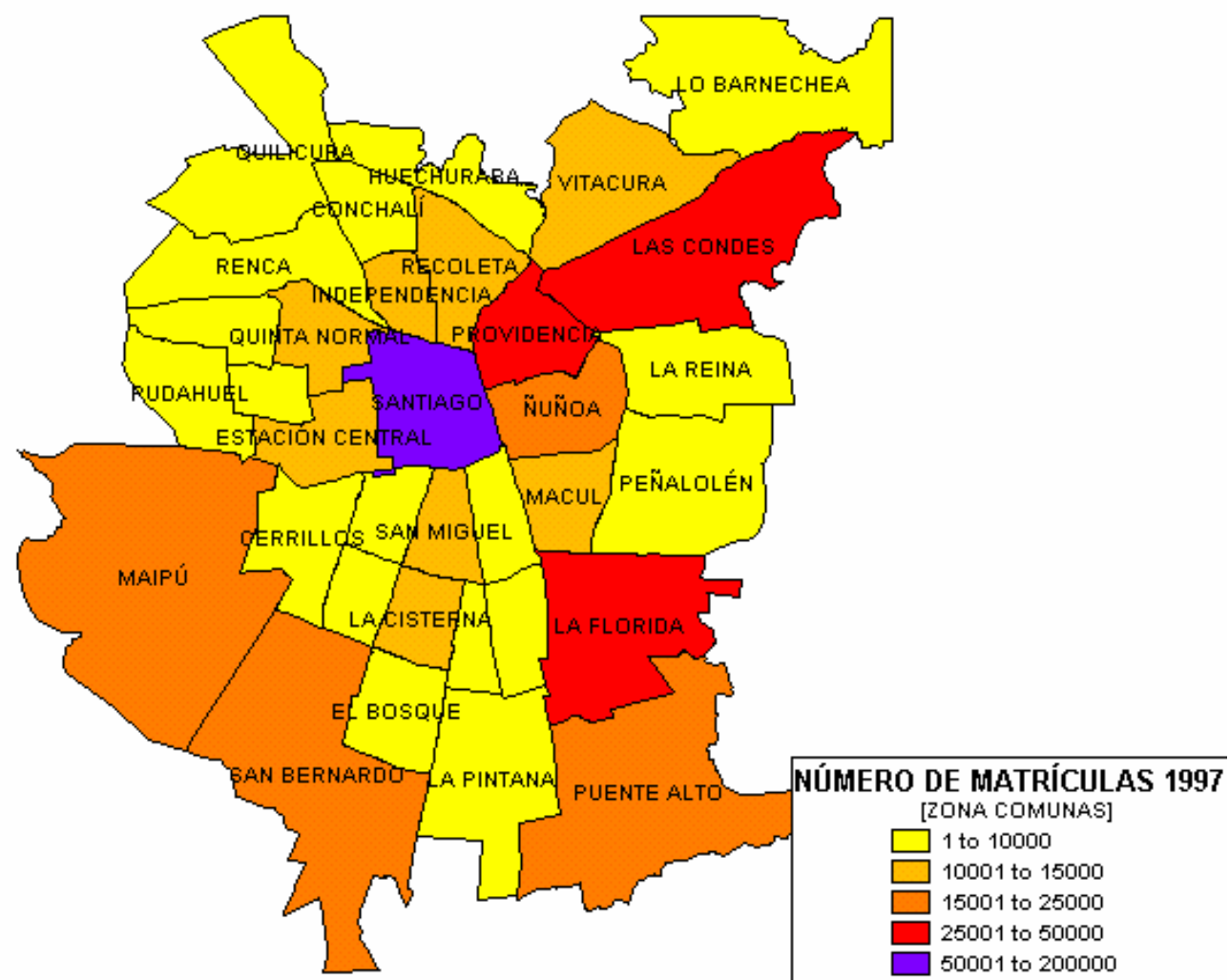
Alumnos de educación media



Media geométrica de distancia entre hogares y colegio (kms.)



# Educación



## El Problema Ambiental

- ◆ No obstante normas
- ◆ Problema: PM10
  - ◆ Motores Diessel
  - ◆ Polvo Suspensión

¿Cuáles son las causas del Smog?



## Responsabilidad Antropogénica en el PM10



Fuente	Participación (%)
Buses	21 %
Camiones	13 %
Vehículos Livianos	14%
Total Fuentes Móviles	40 %
Total Fuentes Fijas	33 %
Total Fuentes Areales	19 %



# El Rol de la Política de Transporte

- La política de transporte urbano se apoya en tres pilares básicos:
  - **Prioridad al Transporte Público**
  - **Incentivo al Uso Racional del Automóvil**
  - **Incentivo al Transporte No Motorizado**
- Planificación Transporte  $\leftrightarrow$  Calidad de Vida
- Planificación Transporte  $\leftrightarrow$  Ciudad
- Planificación Transporte  $\leftrightarrow$  Medio Ambiente



# Los 12 Programas del Plan de Transporte Urbano de Santiago

## Programa 1

**Modernización del  
Transporte Público**



## Programa 2

**Inversiones Viales y  
Racionalización del  
Transporte Privado**



## Programa 3

**Localización de  
Establecimientos  
Educativos**



## Programa 4

**Impulso a Nuevas  
Áreas de Comercio  
y Servicios**



## Programa 5

**Cambio en la  
Tendencia de  
Localización de  
Hogares**



## Programa 6

**Modos No  
Motorizados de  
Transporte**



# Los 12 Programas del Plan de Transporte Urbano de Santiago

**Programa 7**  
**Medidas Inmediatas**



**Programa 10**  
**Financiamiento**



**Programa 8**  
**Regulación del  
Transporte de  
Carga Urbana**



**Programa 11**  
**Comunicaciones y  
Participación  
Ciudadana**

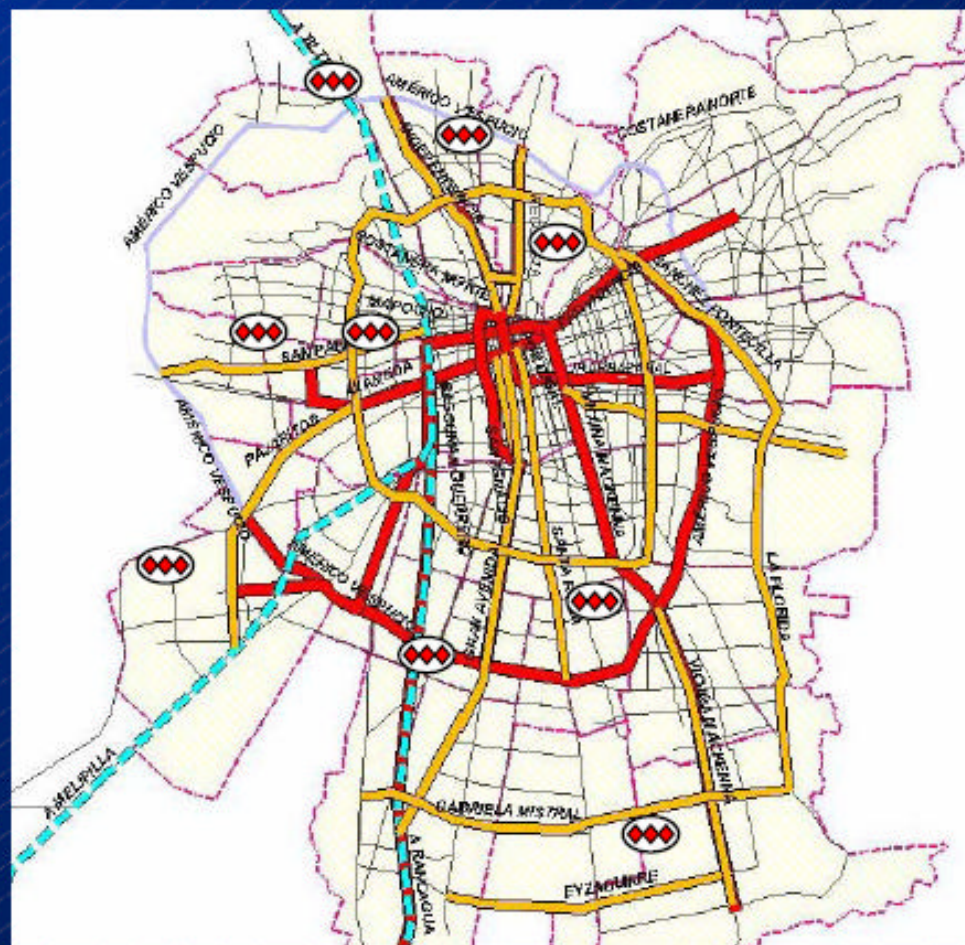


**Programa 9**  
**Fiscalización**



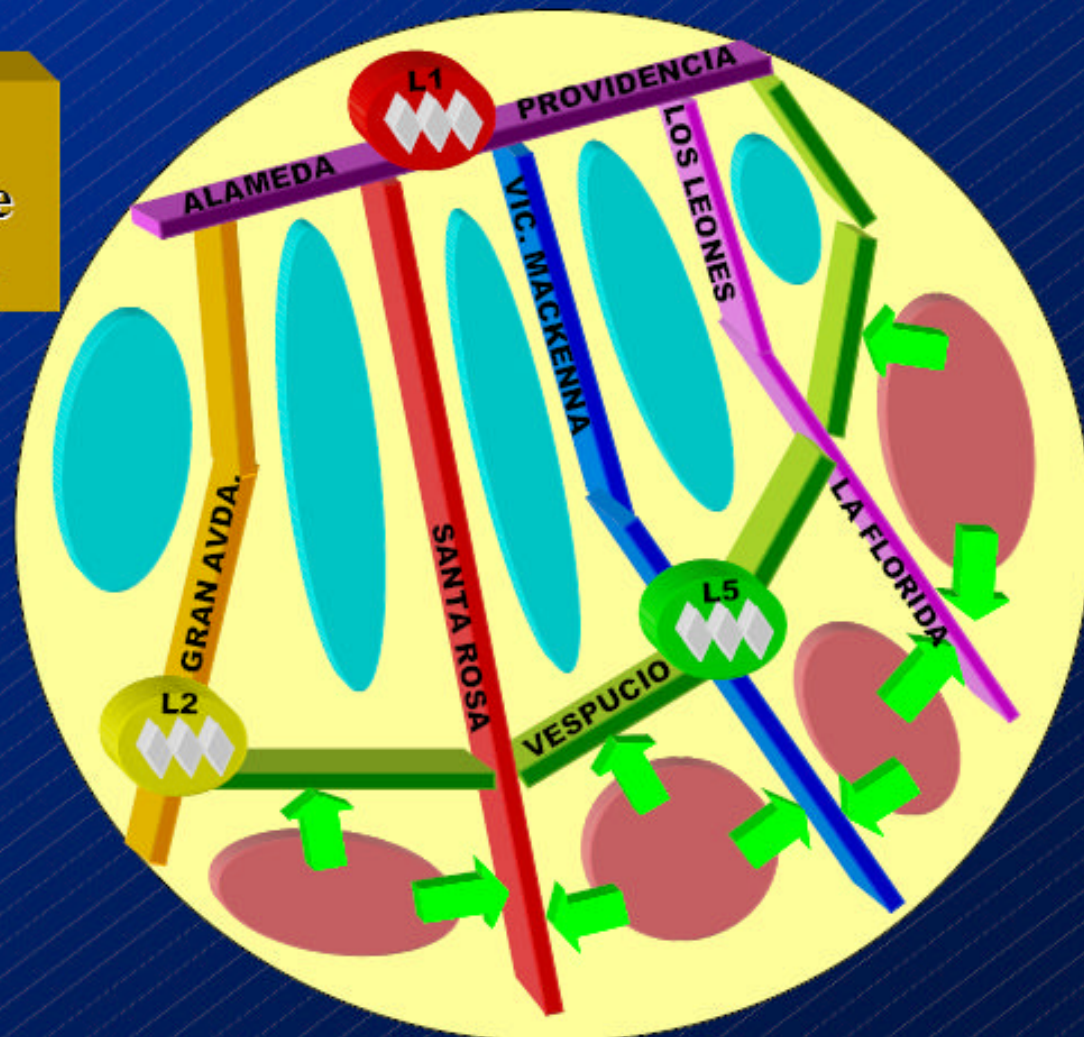
**Programa 12**  
**Institucionalidad**





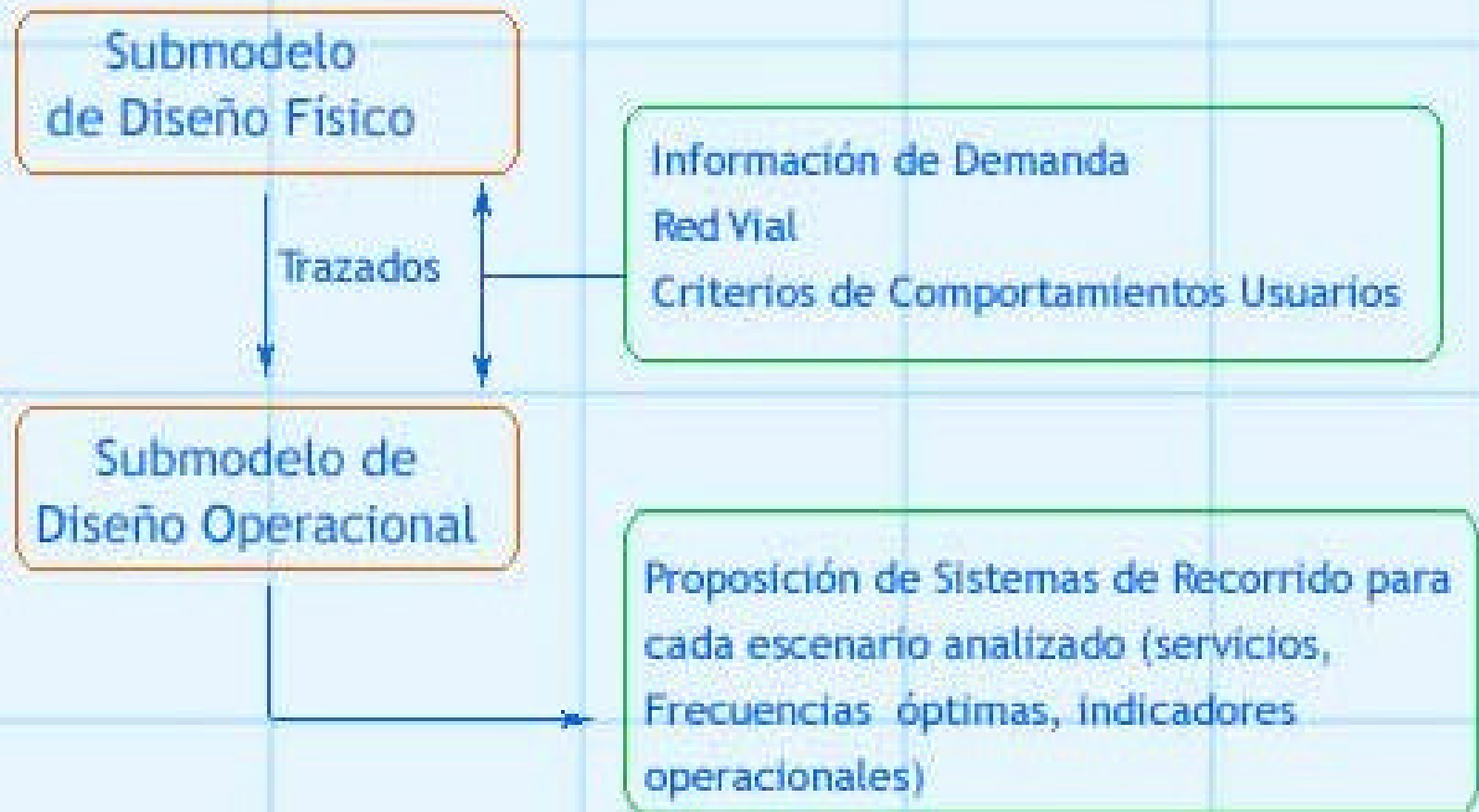
# ESTRAUS: herramienta de análisis del PTUS

Reestructuración del  
Sistema de Transporte  
Público de Superficie



## MODELO DE DISEÑO

Modelo:



# ESTRAUS: herramienta de análisis del PTUS

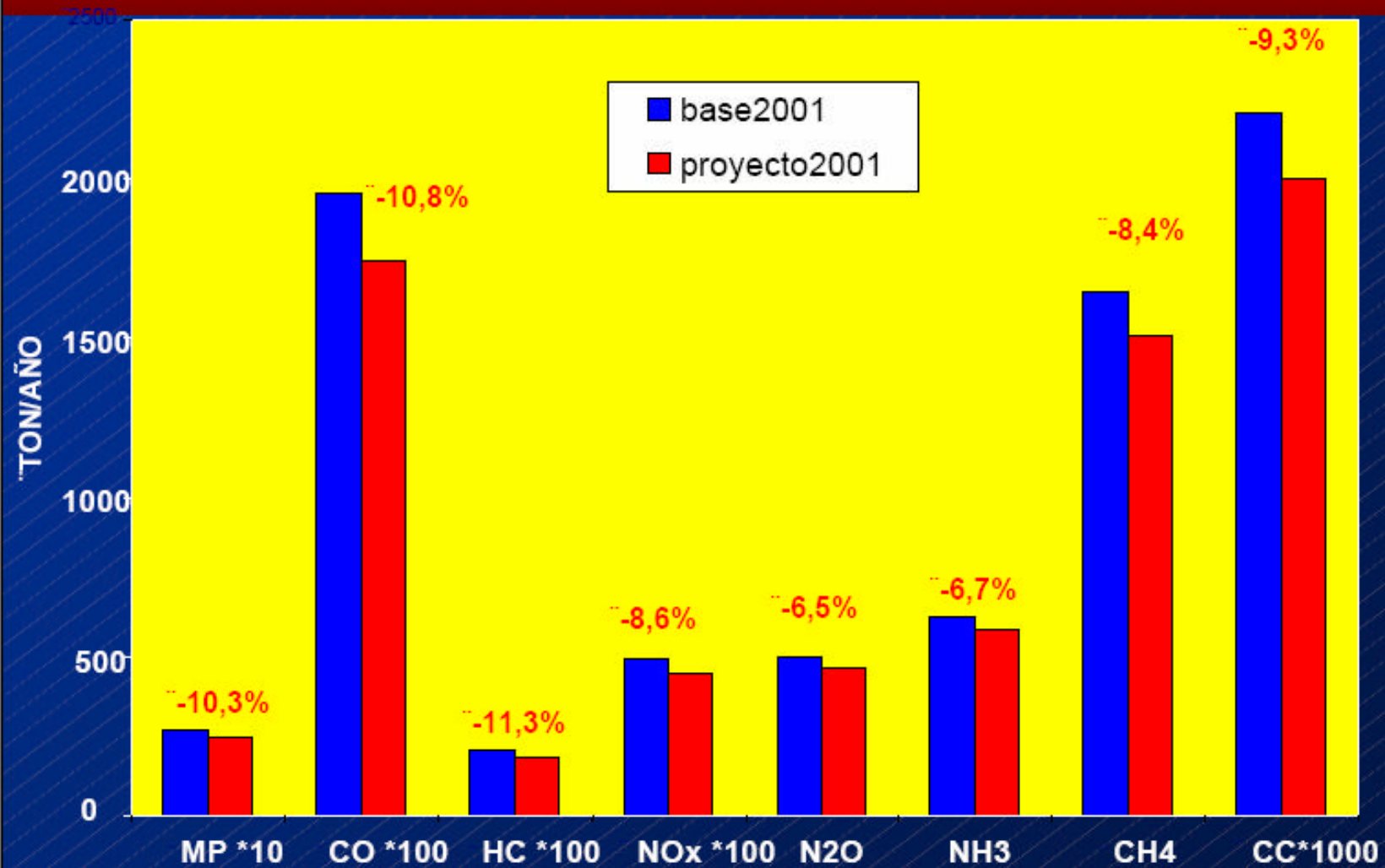


**Programa 7:**  
**Programa de**  
**Medidas Inmediatas**



**Vías Exclusivas de Transporte Público**

## VARIACIÓN PORCENTUAL DE EMISIONES REGIÓN METROPOLITANA PROGRAMA MEDIDAS INMEDIATAS INVIERNO 2001



## **IV. Conclusiones**

- **El desarrollo y aplicaciones de ESTRAUS ha durado más de 10 años**
- **La inversión aproximada en una década de trabajo ha sido de US\$ 6-8 millones**
- **Ello incluye desarrollo conceptual, implementación computacional, recolección y gestión de datos.**

## **Conclusiones**

- **La formulación matemática y la concepción algorítmica de ESTRAUS garantizan una herramienta de enorme potencial de análisis:**
  - ✓ **Formulación de Equilibrio Oferta-Demanda**
  - ✓ **Asignación Transporte Público (restricción capacidad)**
- **Pero ESTRAUS es parte de una “batería” de modelos desarrollados para la ilustración técnica del desarrollo y gestión de sistemas de transporte urbano**

## Conclusiones

- Después de 10 años de continuos mejoramientos, actualizaciones y aplicaciones, ESTR AUS es un modelo clave en el análisis de transporte en Chile
- **Es también la herramienta “natural” para continuar el análisis técnico de planes, proyectos, políticas de desarrollo y gestión del STU.**
- En particular el Plan de Transporte Urbano de Santiago será una de las aplicaciones más importantes de ESTR AUS en los próximos años.

**FIN**

