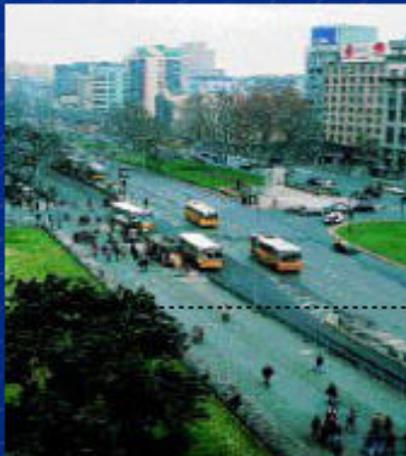


ANÁLISIS DE SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO: *Una Introducción*



CI63D

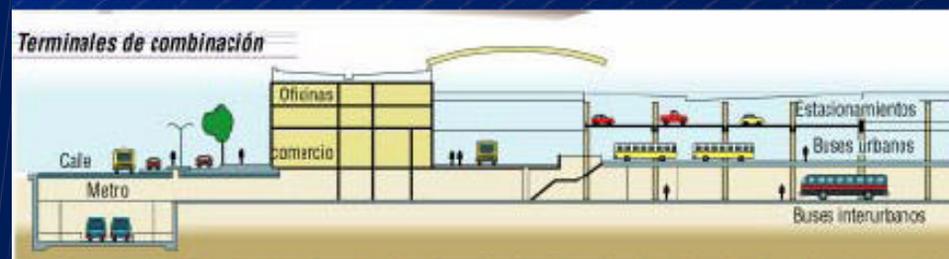
SIMULACIÓN ESTRATÉGICA DE SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO

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

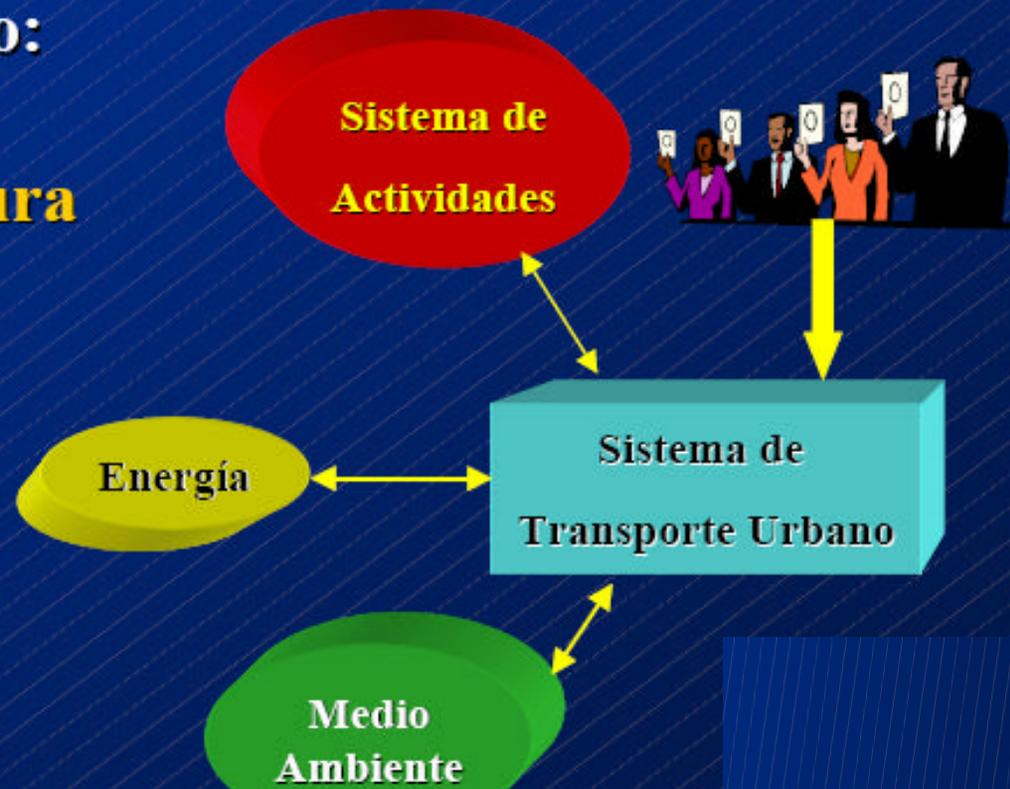
- **Sistemas, Modelos y Transporte**
- **El Rol del Modelo**
- **Las Preguntas Básicas del Análisis de Transporte**
- **Bondad Técnica y Función del Modelo.**



Sistemas de Transporte Urbano

- Elementos y actores del Sistema de Transporte Urbano:

- Infraestructura
- Vehículos
- Servicios
- Usuarios
- Operadores
- Autoridades
-

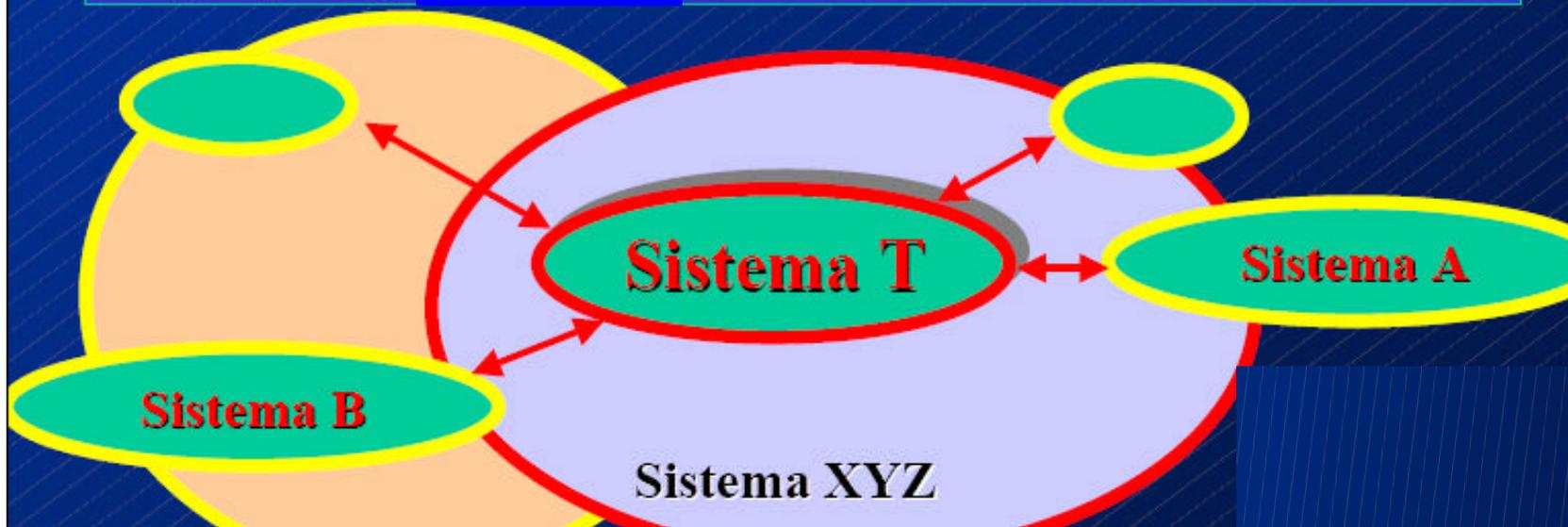


Sistemas, Modelos y Transporte

- **Objetivo del análisis técnico:** Entender y Explicar ciertos fenómenos que interesan por alguna razón .
- **Complejidad de la realidad y su fenomenología**
- **Artificio:** Desagregar el problema original
 - ✓ en sub-problemas más simples y acotados
 - ✓ quizás entendiendo c/u por separado... podemos 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:

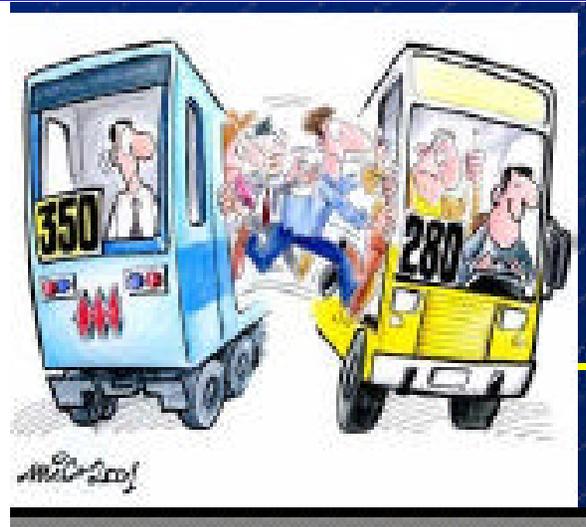
Considerar perspectivas pública, privada, usuarios operadores, ciudadanos etc.

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



```
graph LR; A[Spatial structure] --> B[Necessities]; B --> C[Modes]; C --> D[Operations]; D --> A;
```

- 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

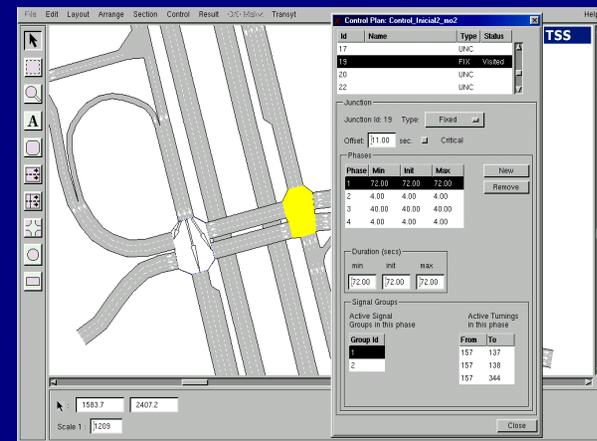
- Escala (macroscópica, mesoscópica, microscópica)

Clasificación de modelos y su uso

- Modelos macroscópicos:
 - ESTRAUS
 - SATURN
- Modelos mesoscópicos:
 - TRANSYT
 - DYNASMART
- Modelos microscópicos:
 - GETRAM
 - PARAMICS
 - VISSIM

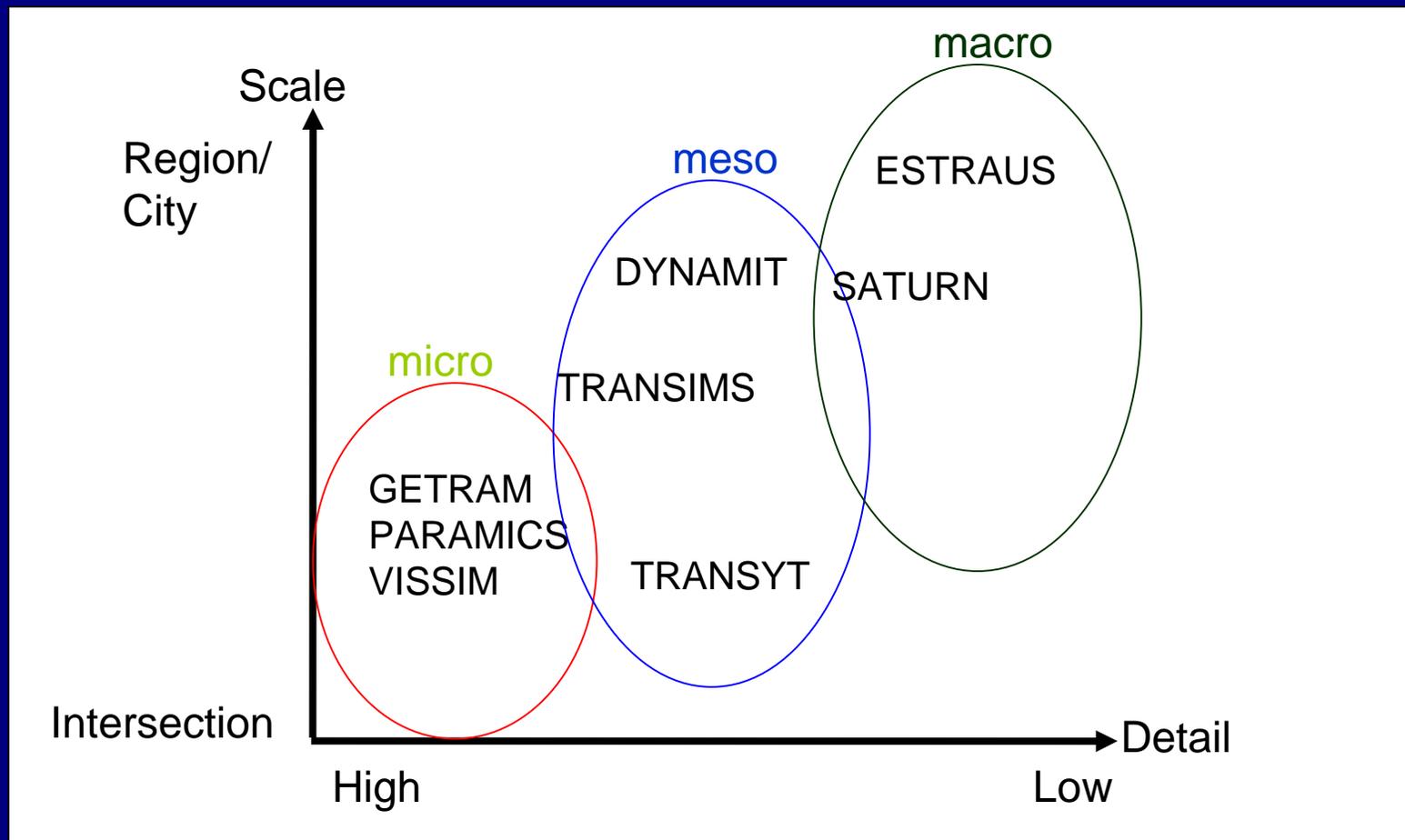


- Detail
+



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.

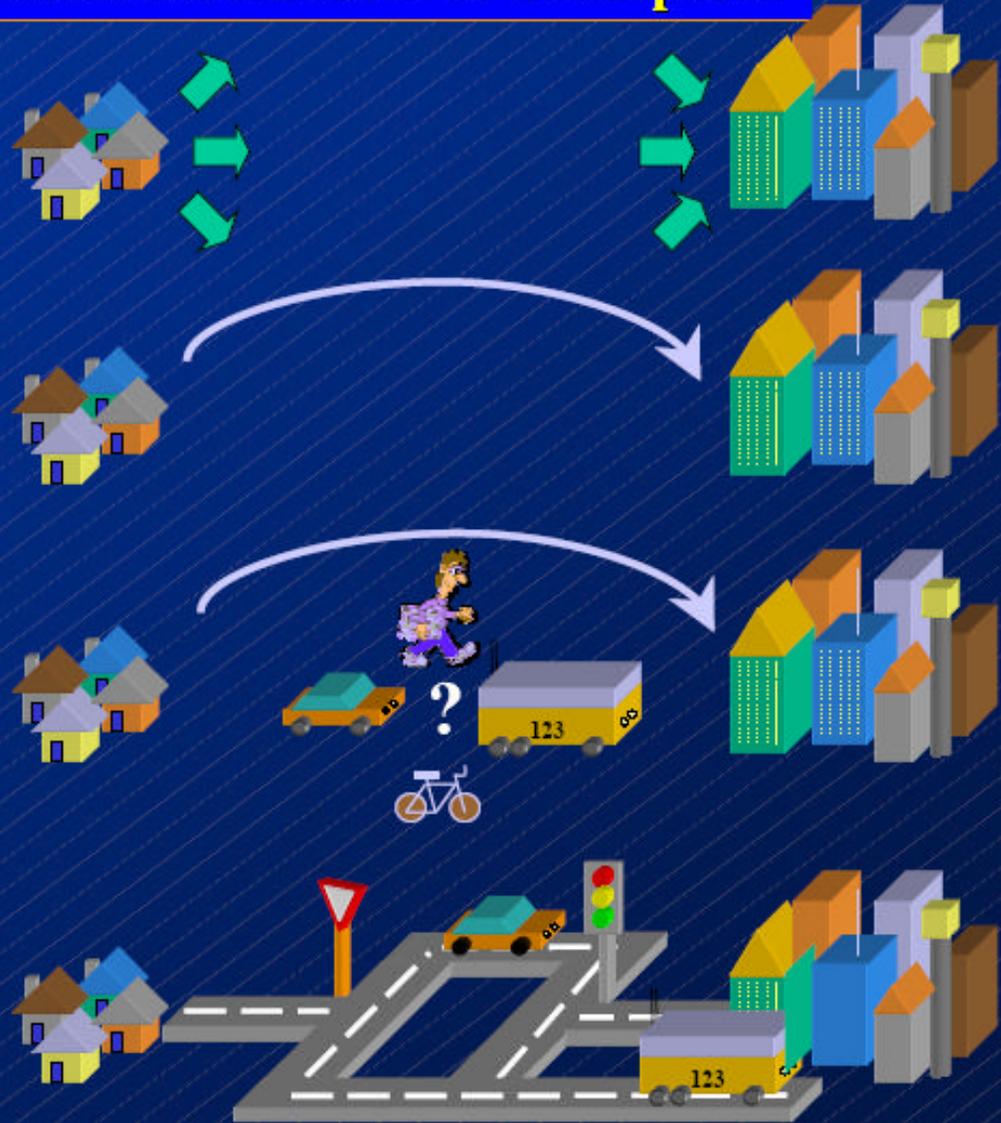
Las Preguntas Básicas del Analista de Transporte

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**

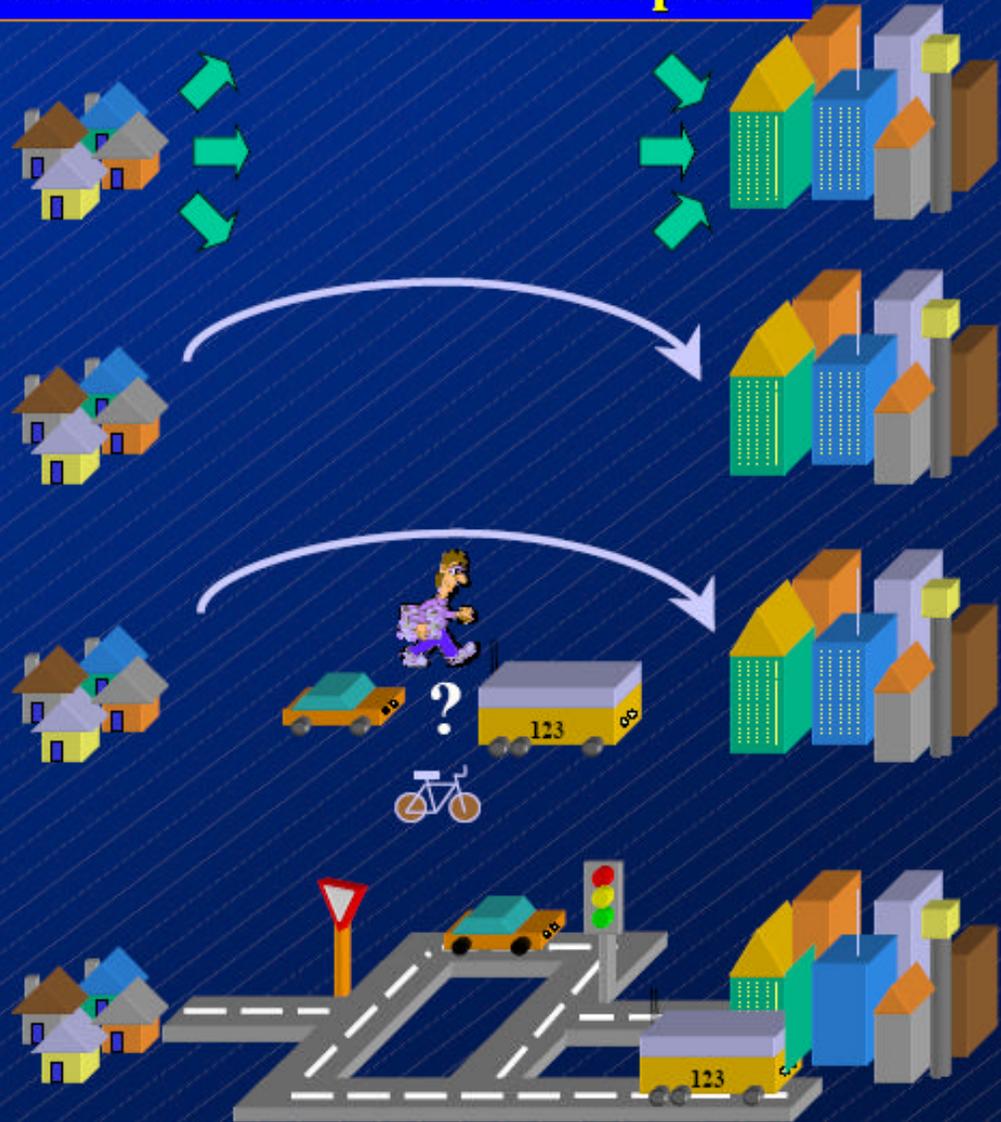
Las Preguntas Básicas del Analista de Transporte

Generación y
Atracción de Viajes

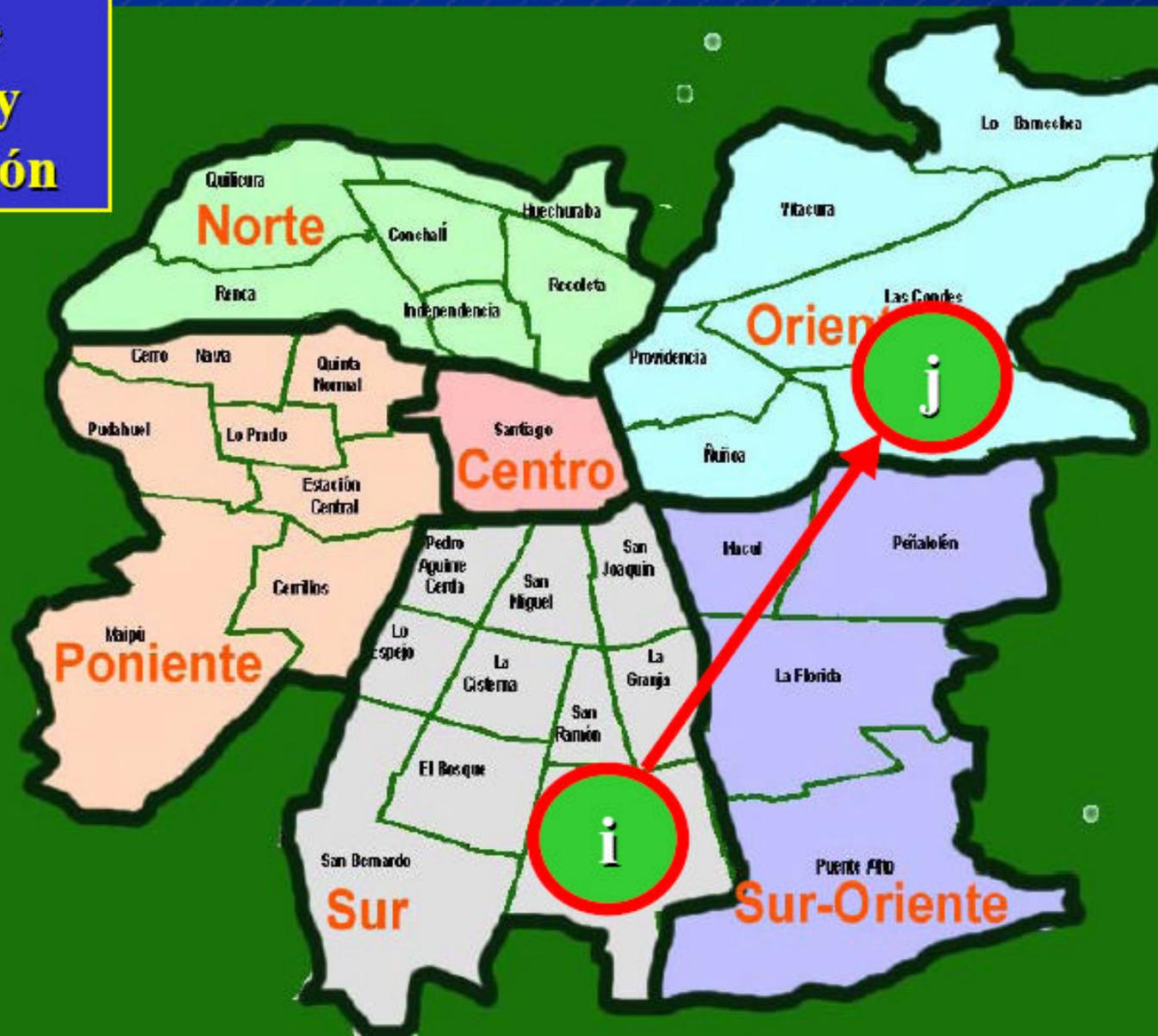
Distribución

Partición Modal

Asignación



Área de Estudio y Zonificación



(faltan 30 láminas)

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

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

MODELO ASIGNACION TRANSPORTE PRIVADO

$$f_a^p, C_a^p$$

MODELO ASIGNACION TRANSPORTE PÚBLICO

$$f_a^b, C_a^b$$

D
E
M
A
N
D
A

O
F
E
R
T
A



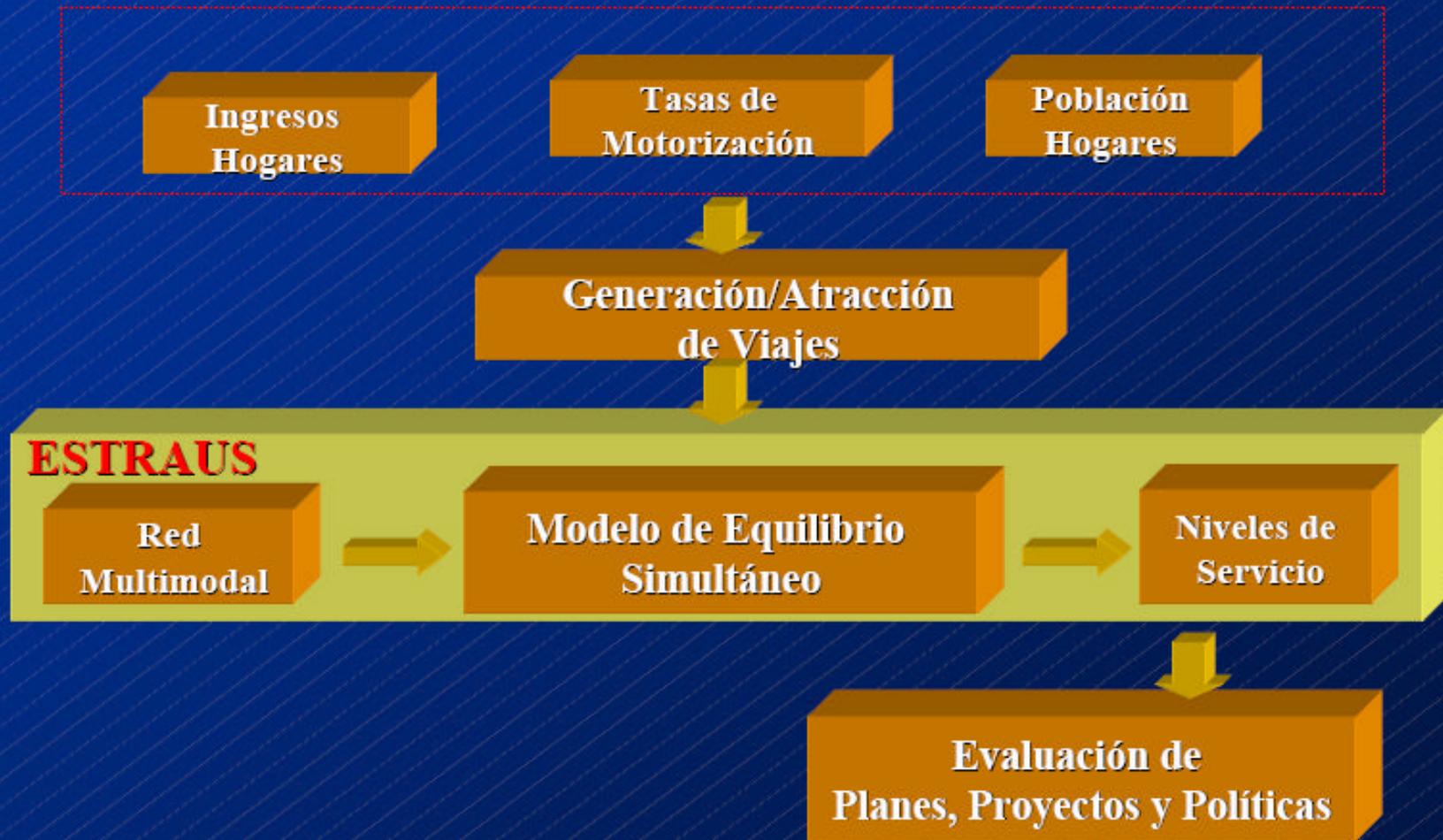
Modelo de Equilibrio Secuencial de Transporte de Cuatro Etapas (VIVALDI)

- 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 ESTR AUS

- 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

ESTRAUS

Uso de suelo

Crecimiento

Localización

MUSSA

Movilidad

Distribución

Partición modal

Asignación

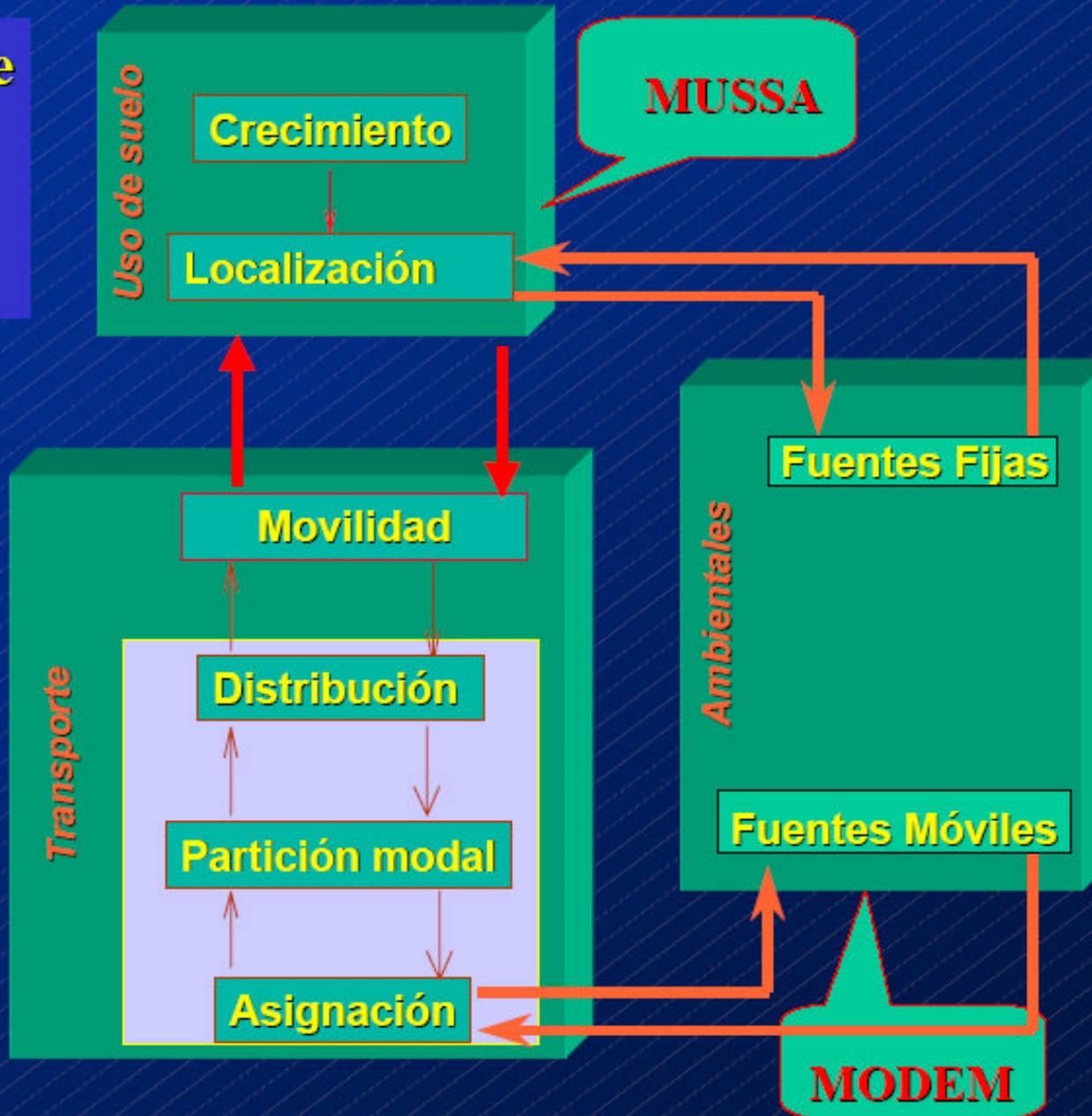
Transporte

Ambientales

Fuentes Fijas

Fuentes Móviles

MODEM



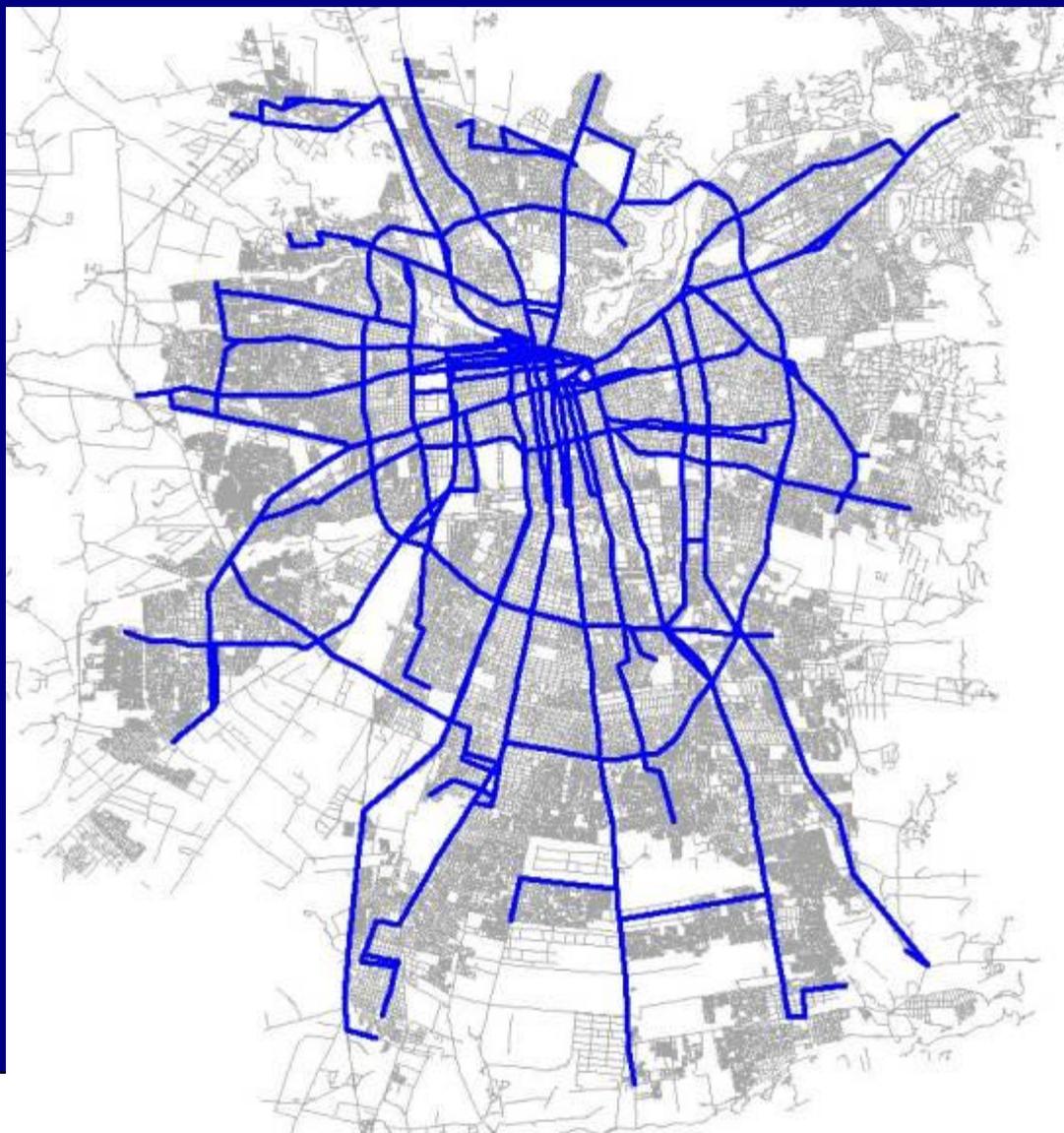
III. Desafíos de la Planificación del Sistema de Transporte Urbano

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

Sistema de Transporte Urbano de Santiago

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

Principales ejes viales



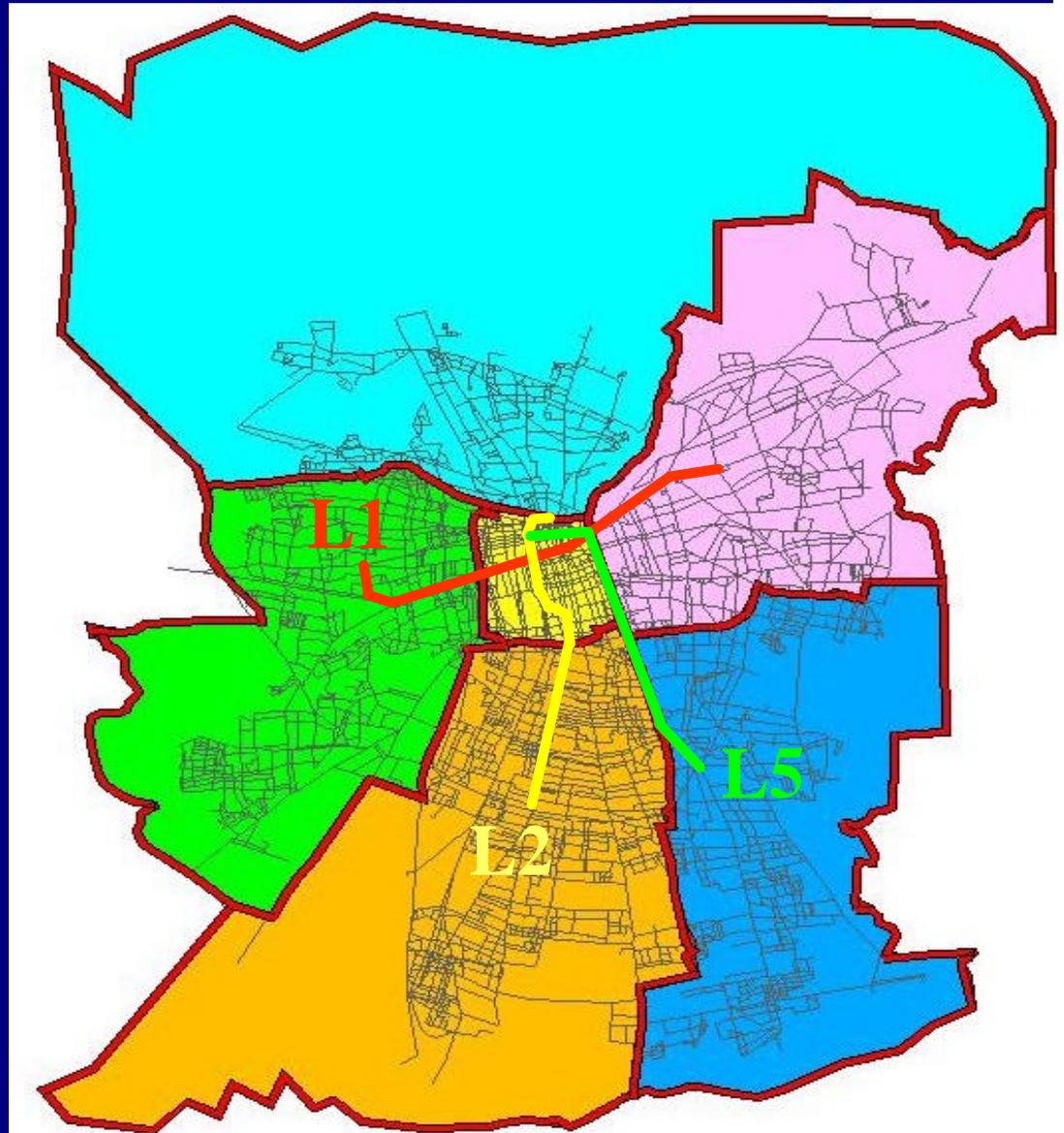
Sistema de buses (2001)

- 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 :

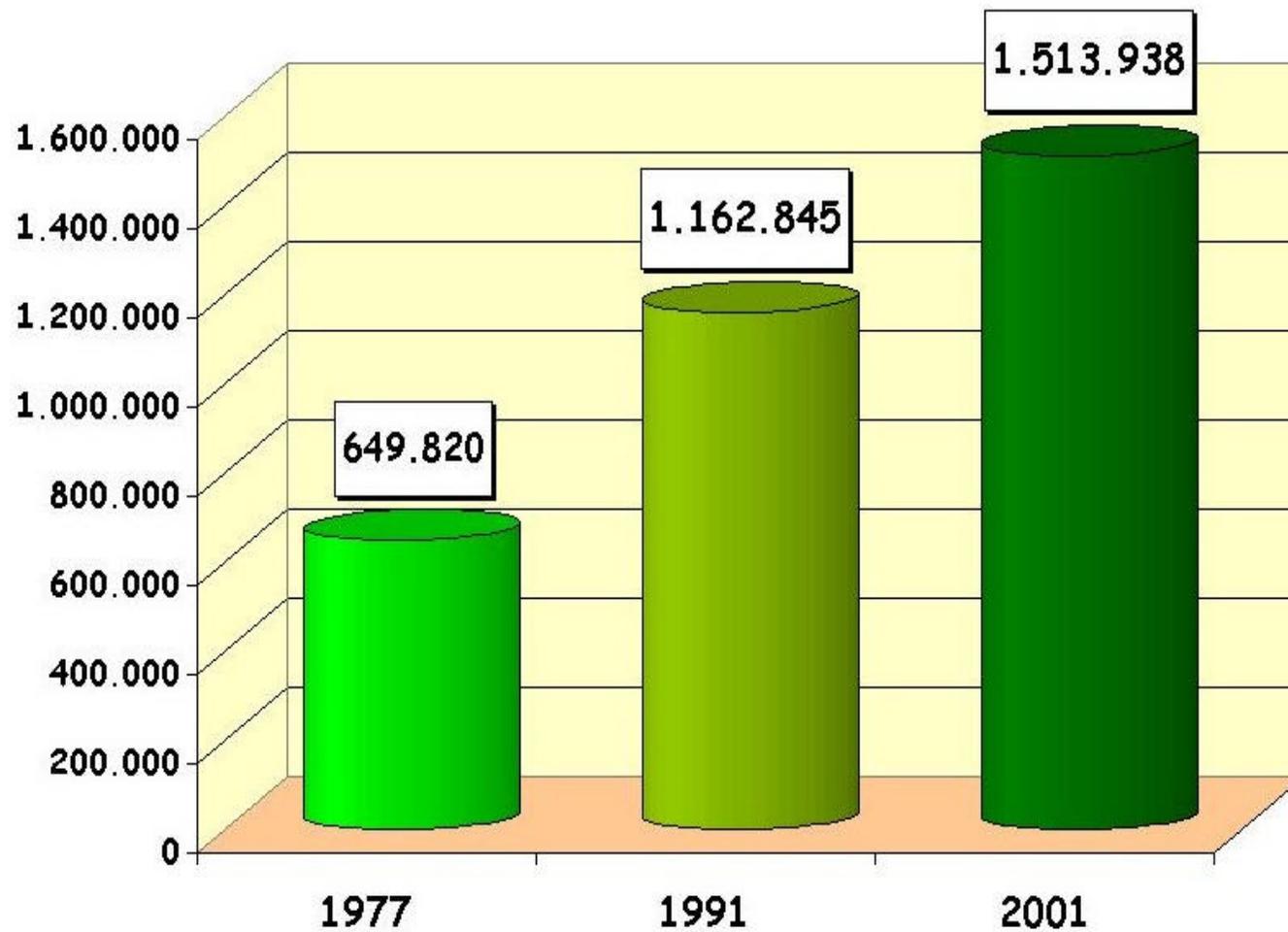
6.333.796

· caminata
· bicicleta

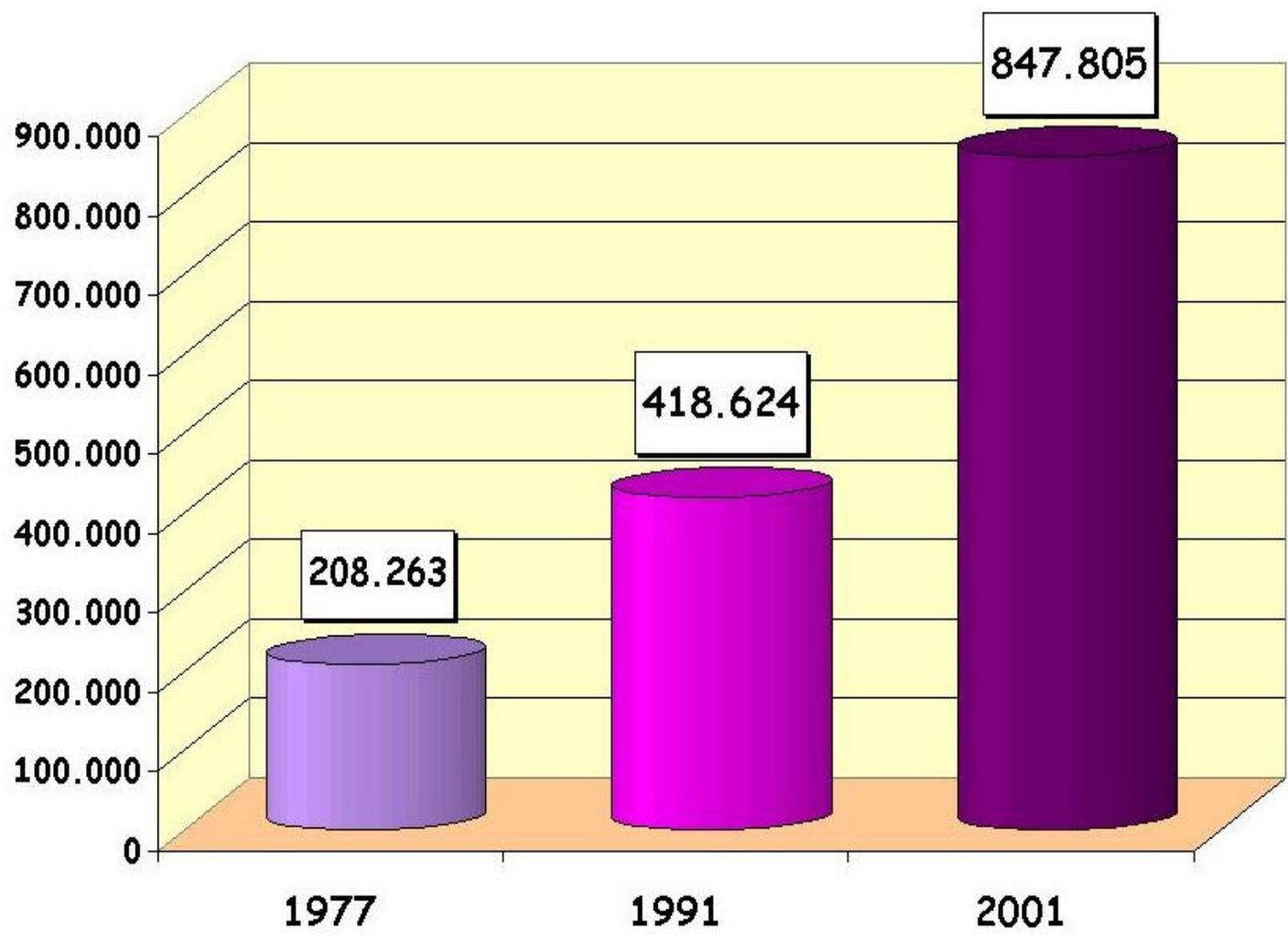
Contexto de Planificación de la STU

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

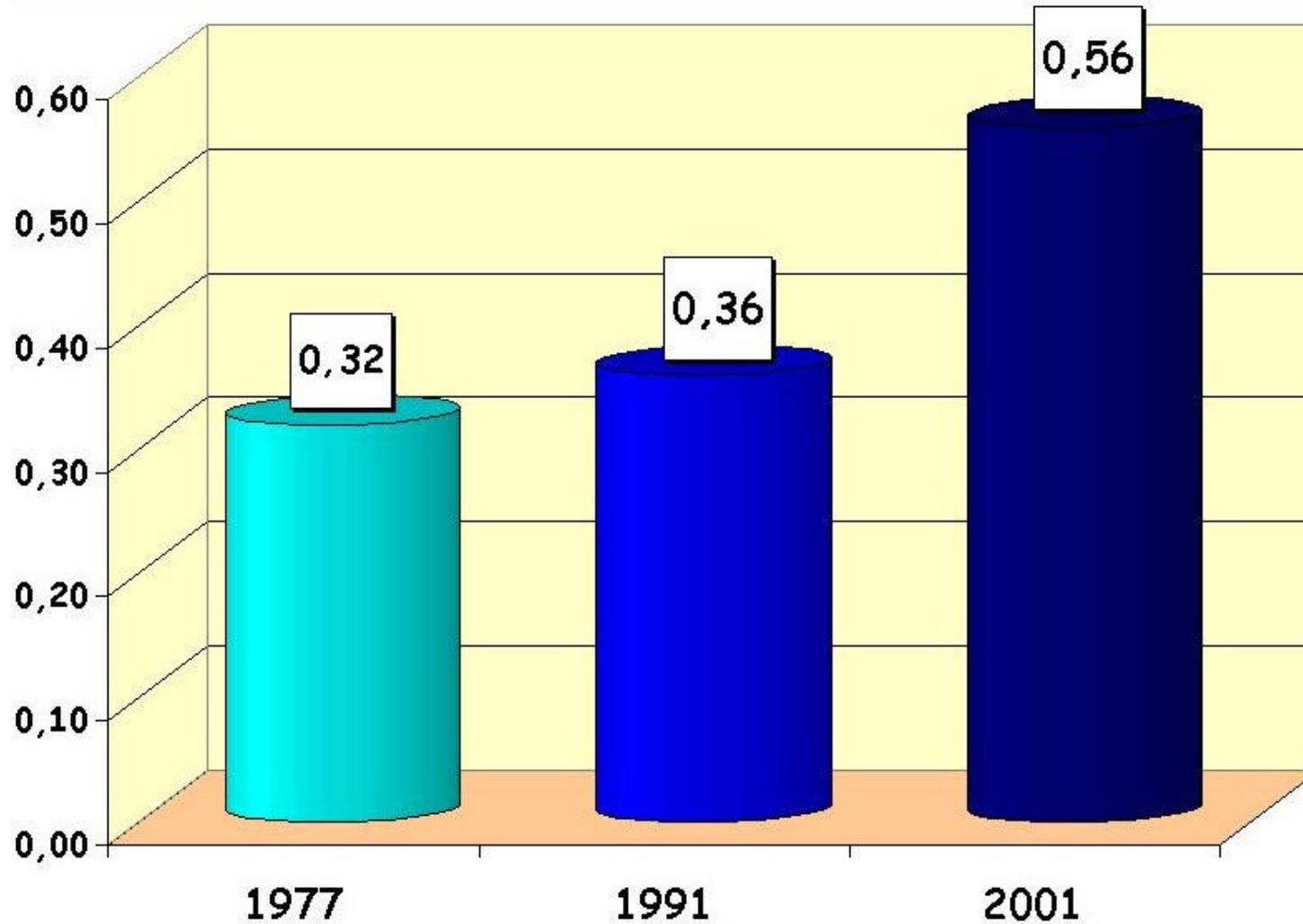
Número de hogares



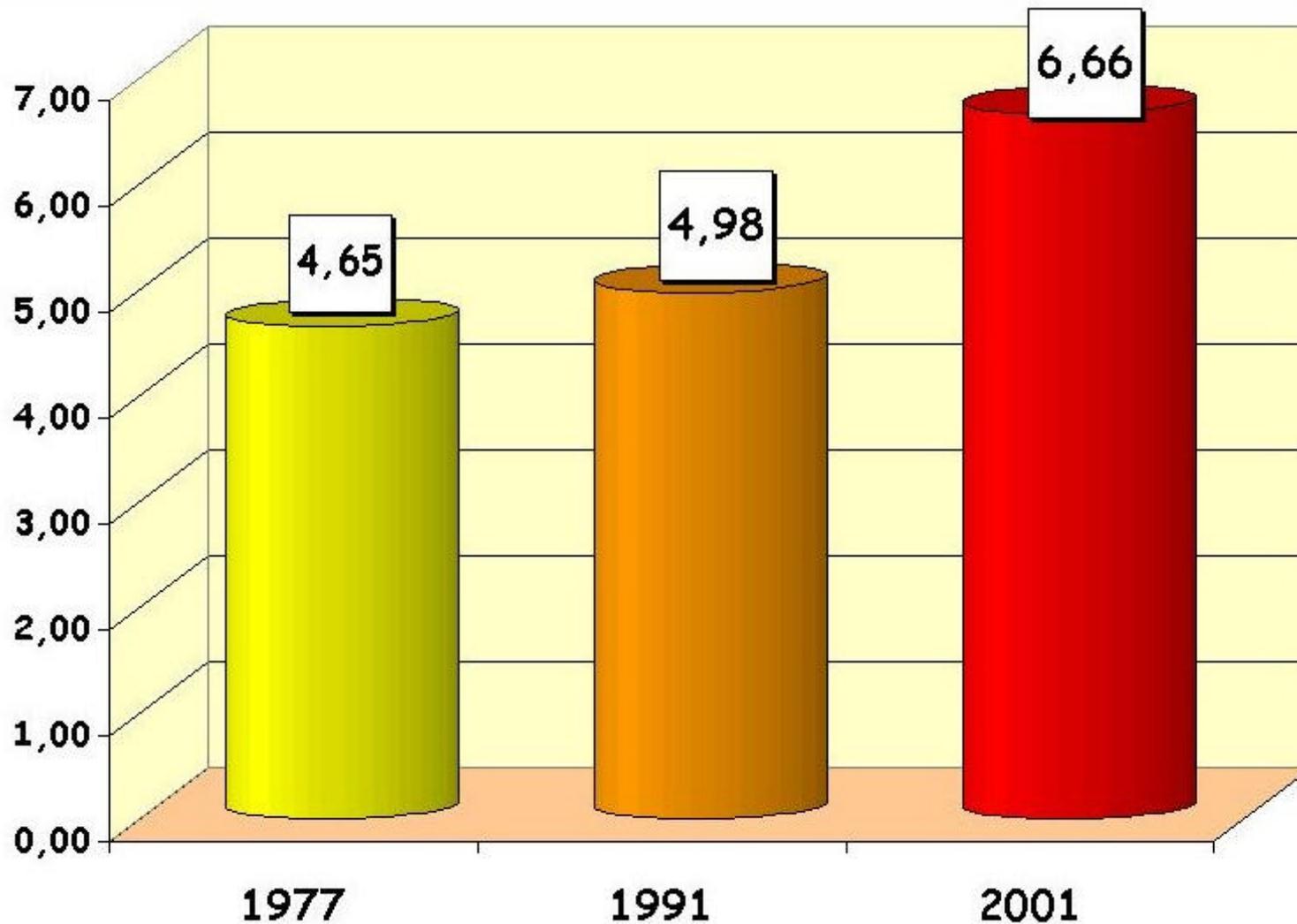
Número de autos



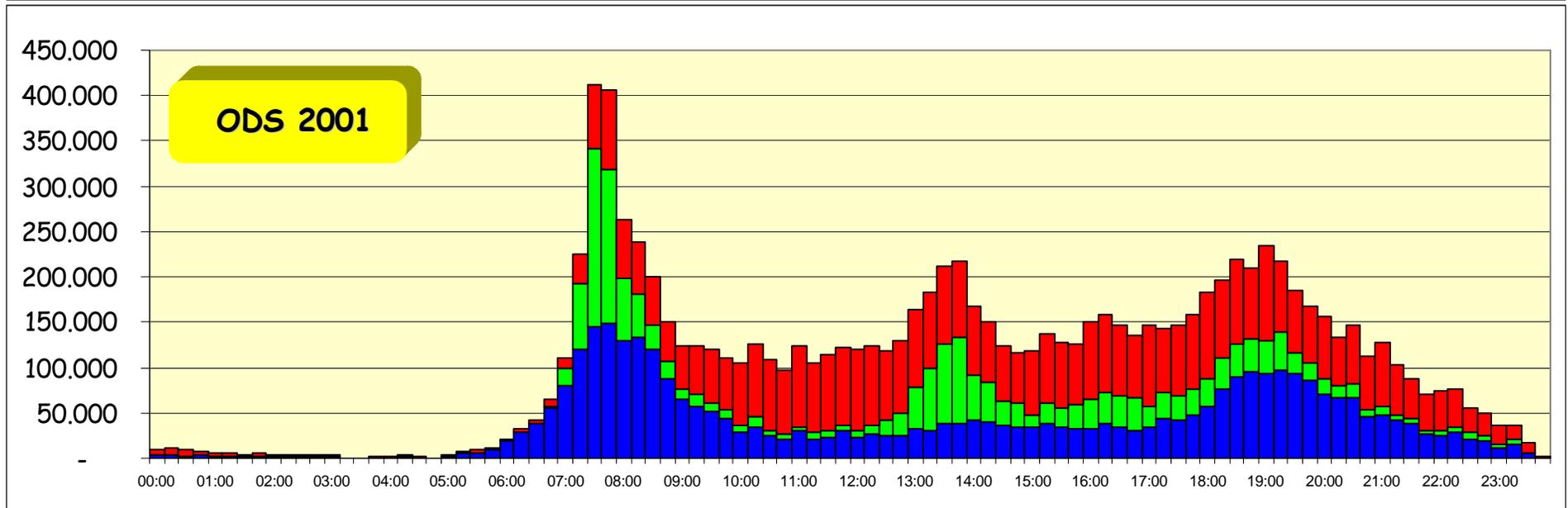
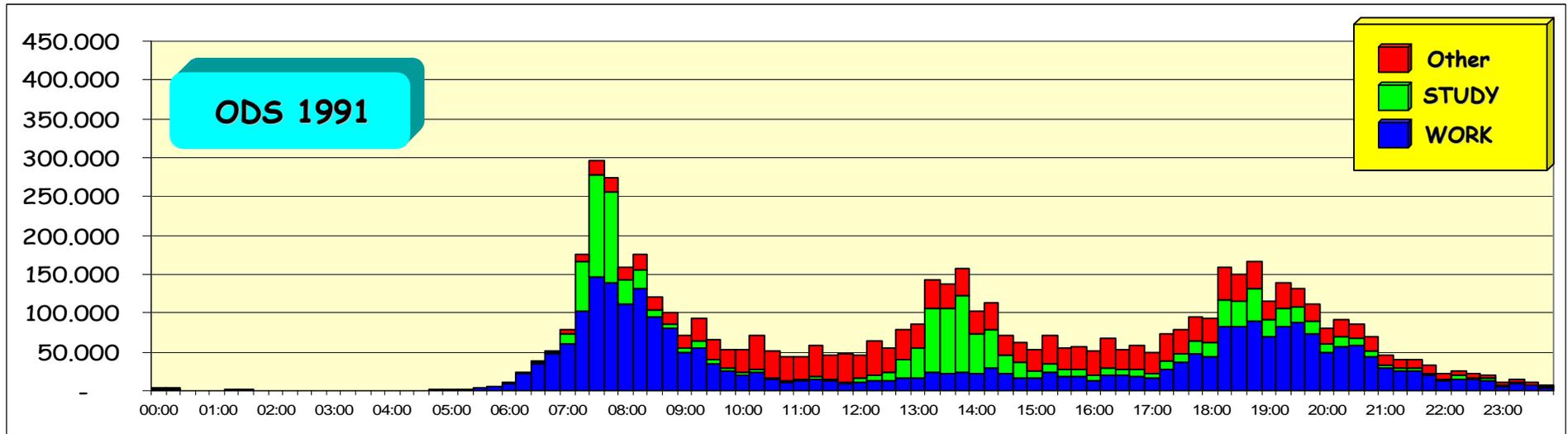
Autos por hogar



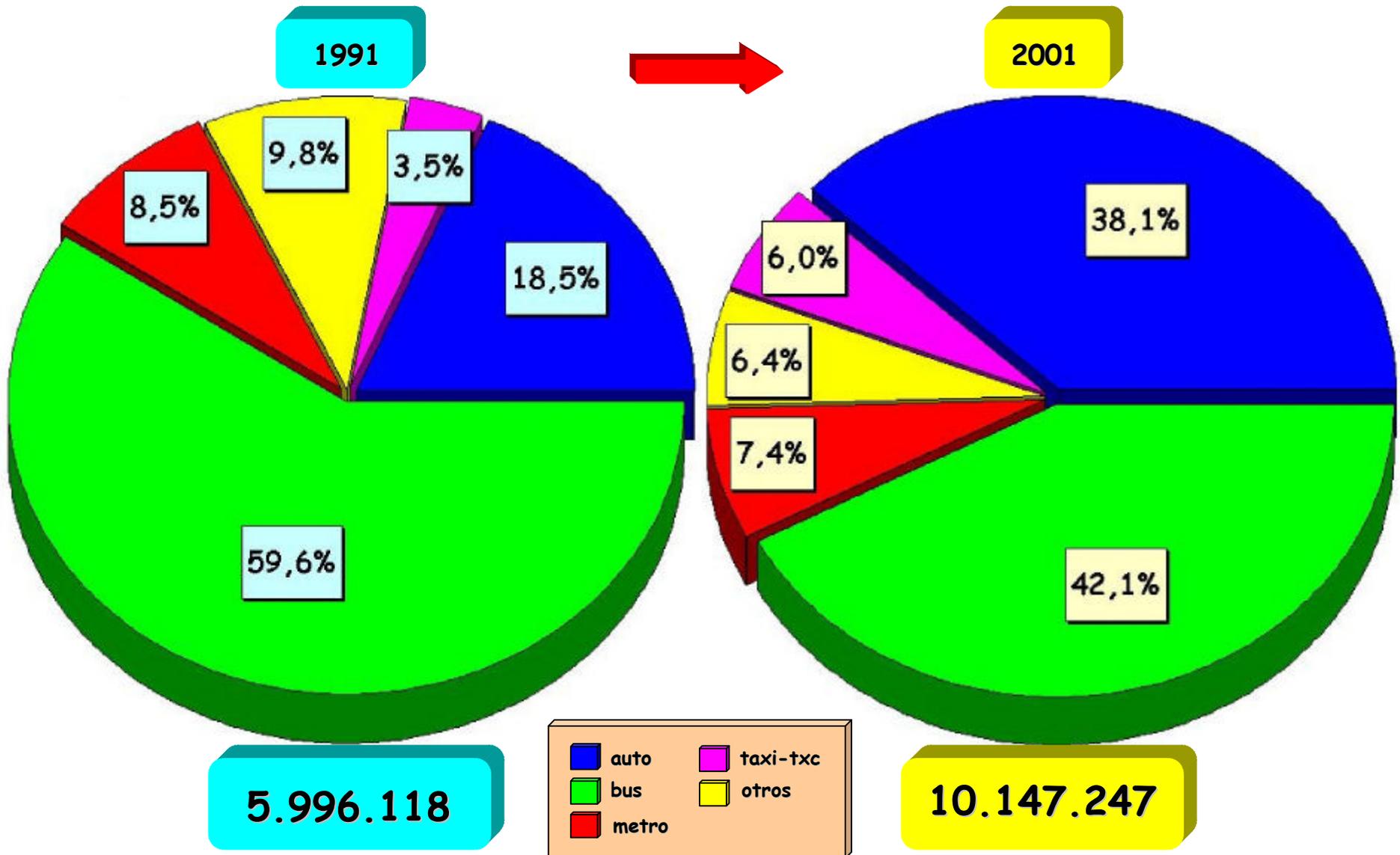
Evolucion de generaci3n de viajes motorizados por hogar



Histograma evolución propósito viajes motorizados (día laboral)



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

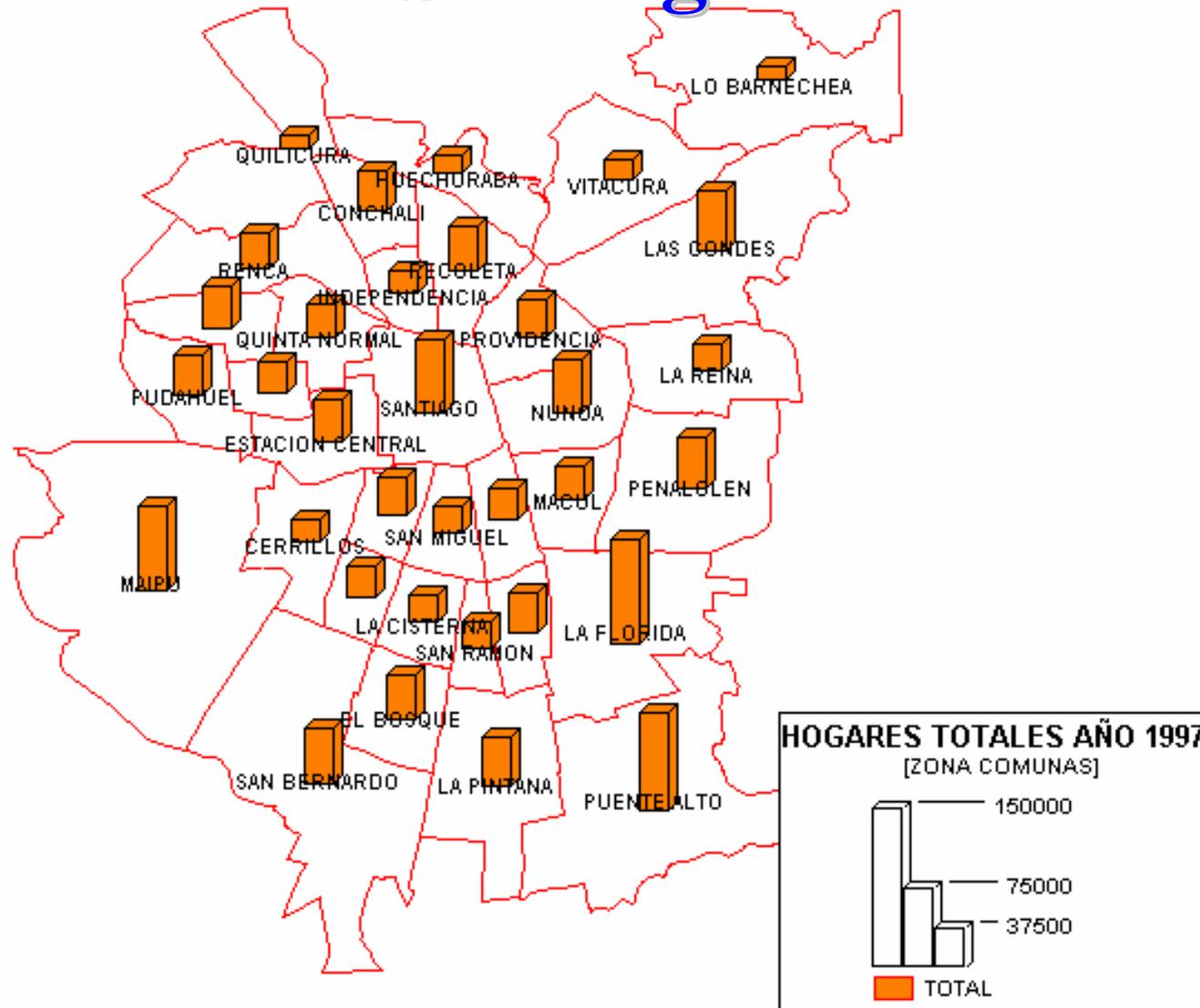


**Problema:
Localización
De Hogares y
Actividades:**

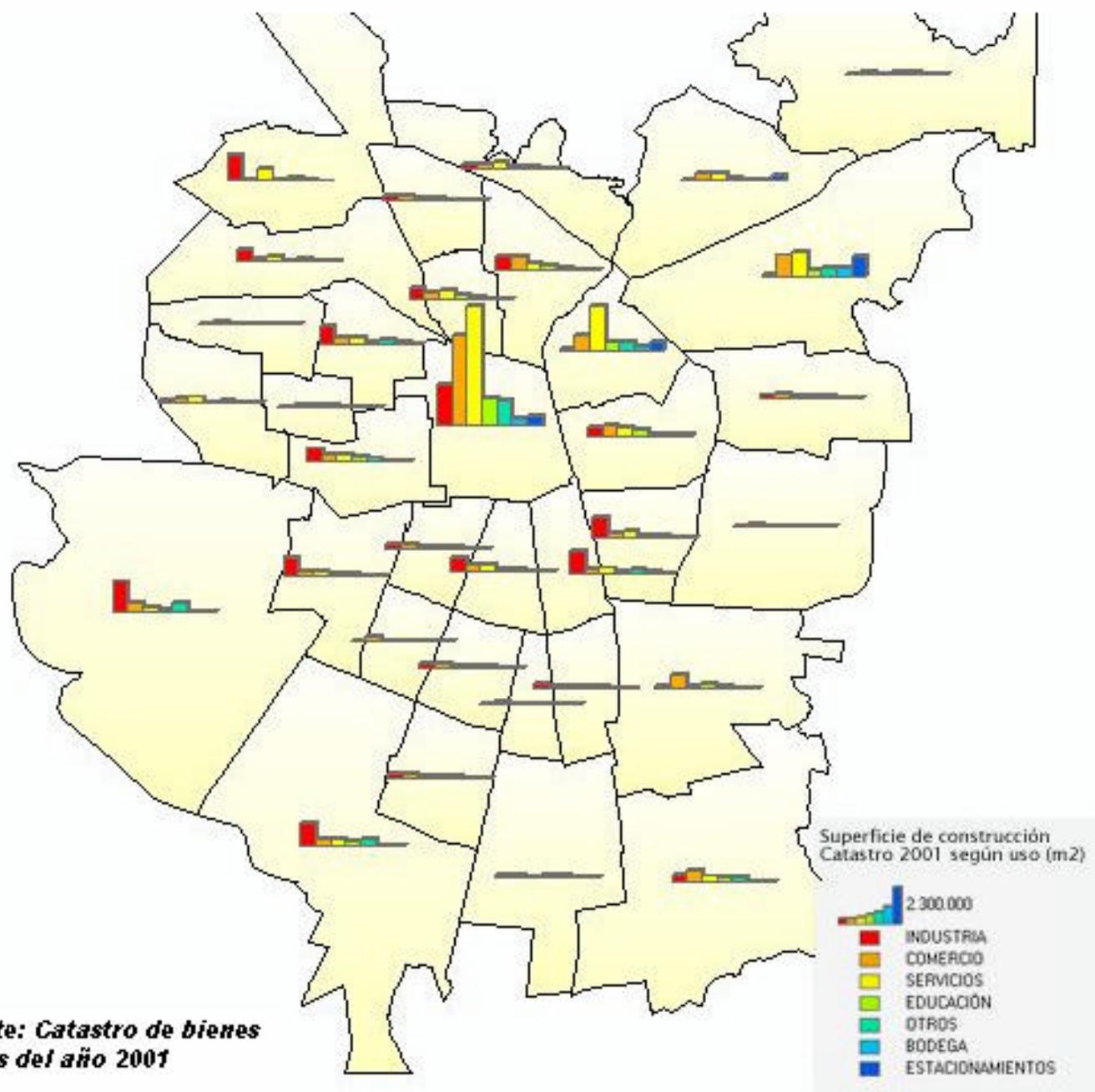


(faltan 17 láminas)

Total de hogares en Santiago

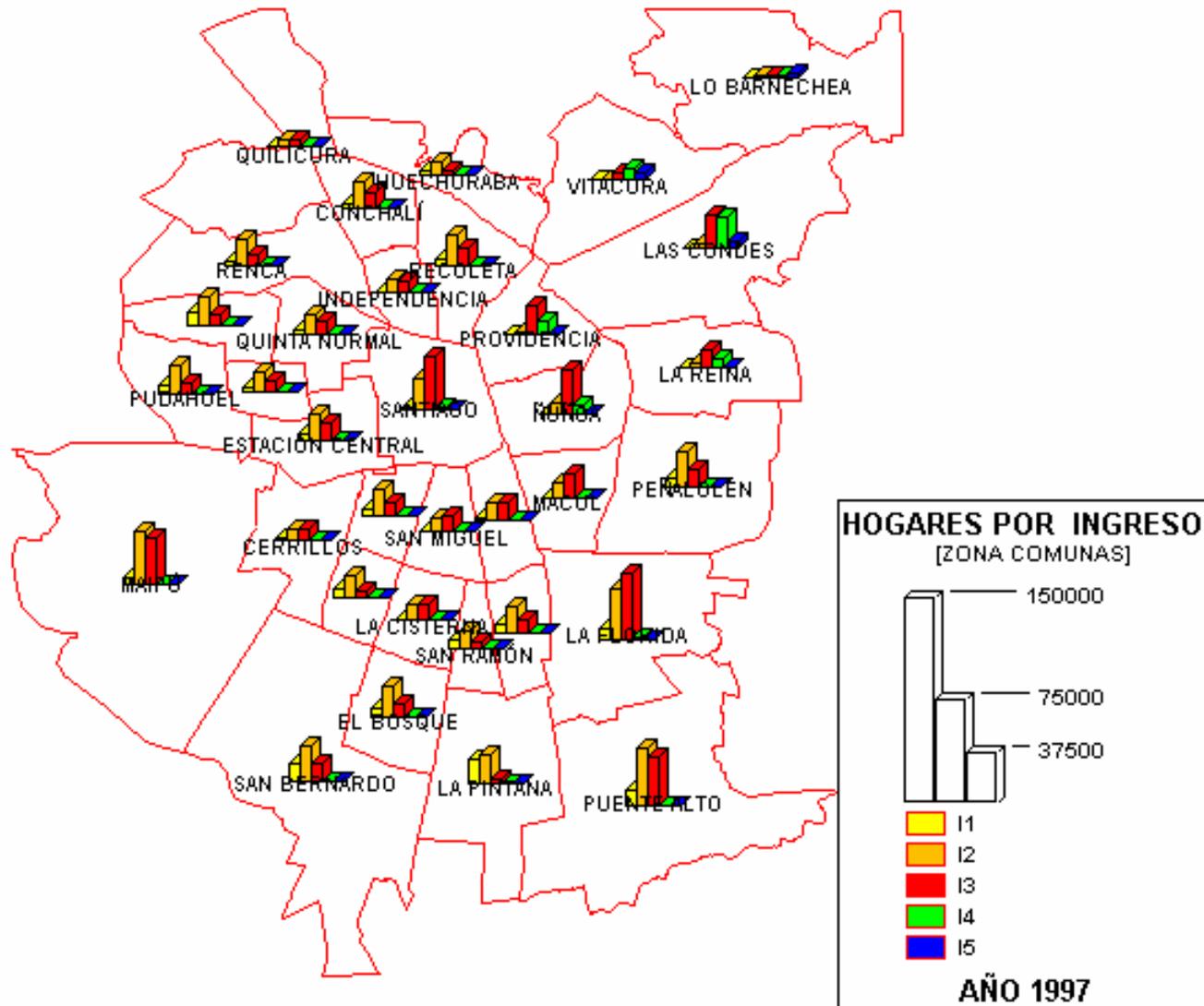


Superficies construidas según comuna y destino de la construcción del 2001

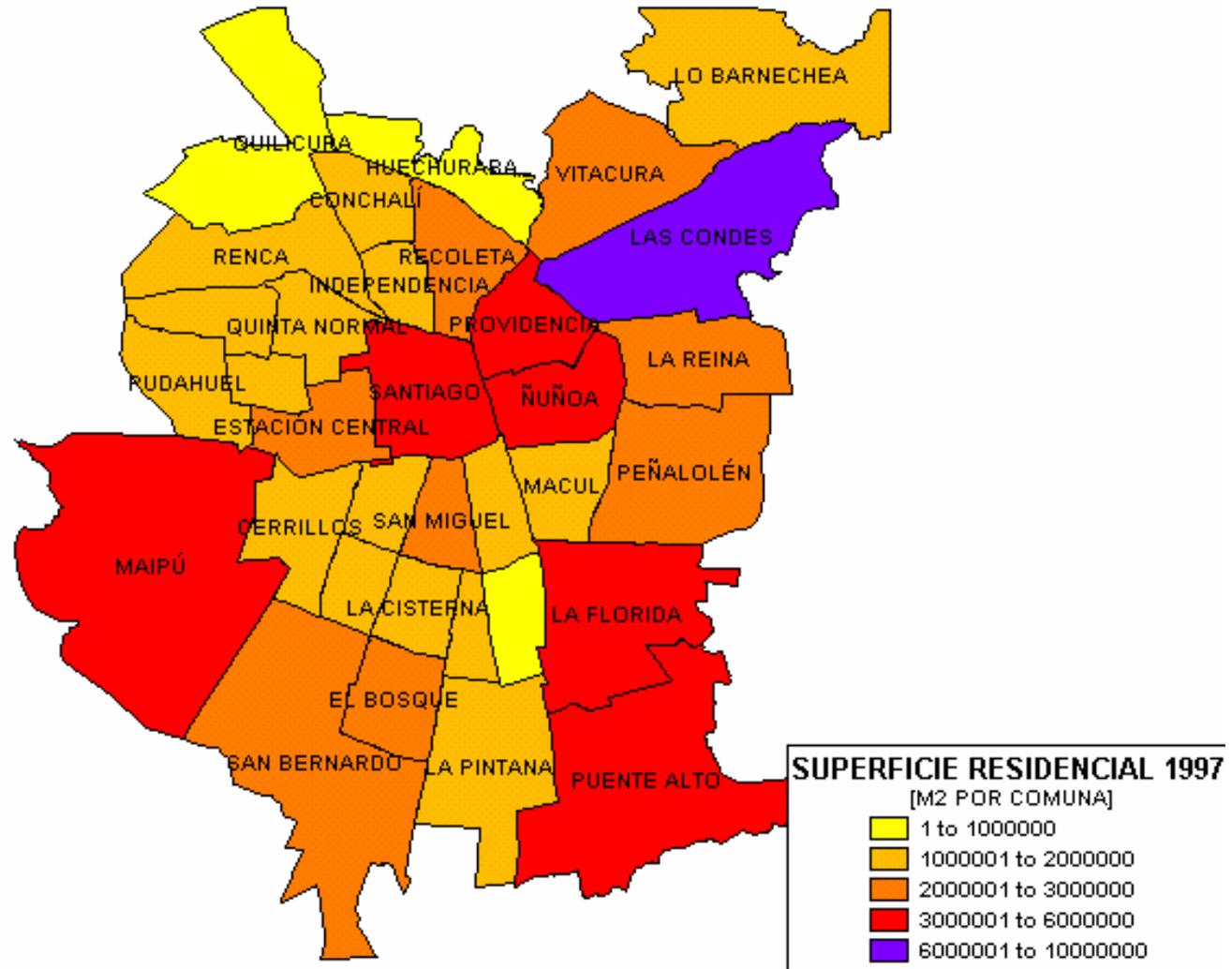


Fuente: Catastro de bienes raíces del año 2001

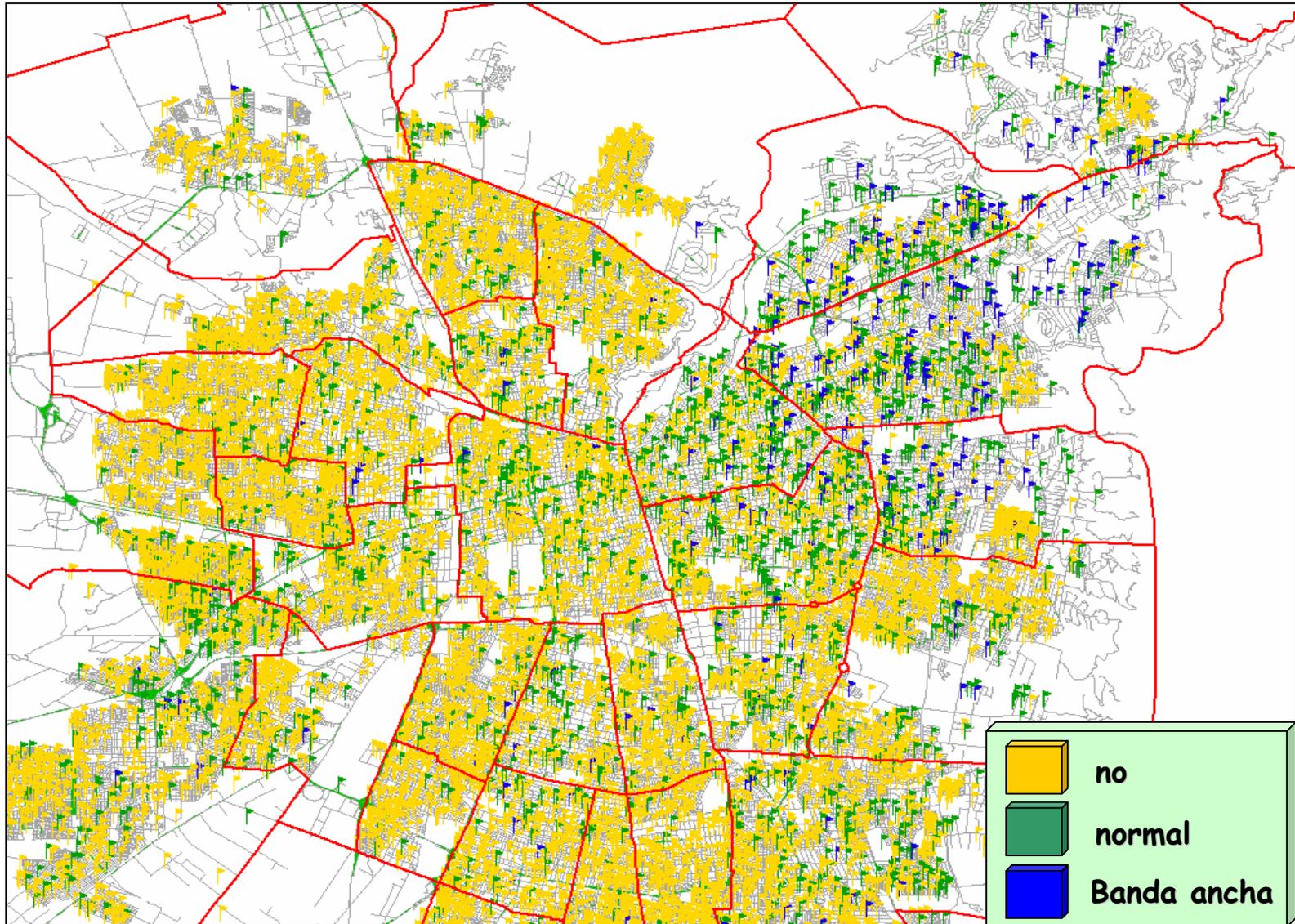
Distribución Espacial Ingreso



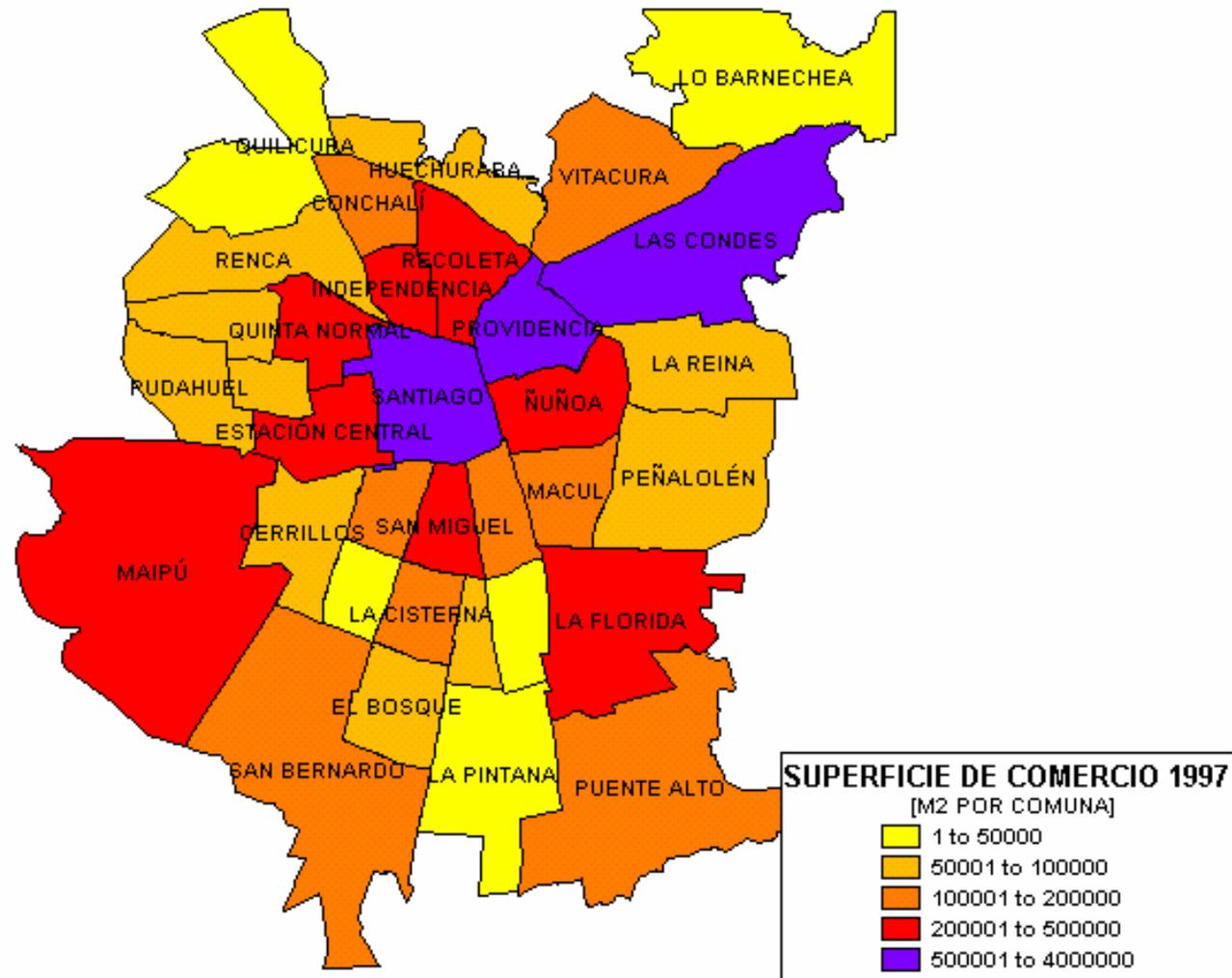
Area Residencial



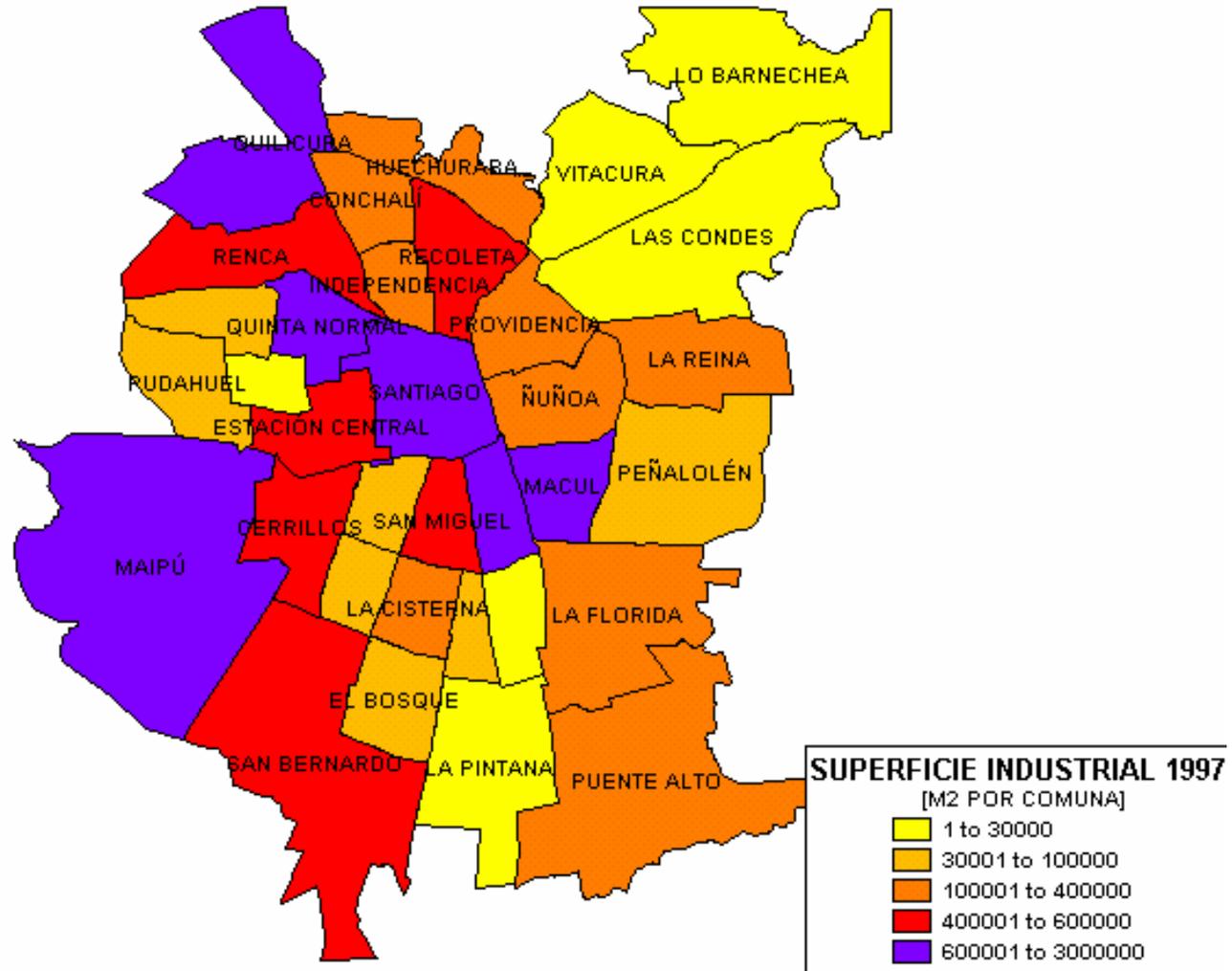
Internet en los hogares



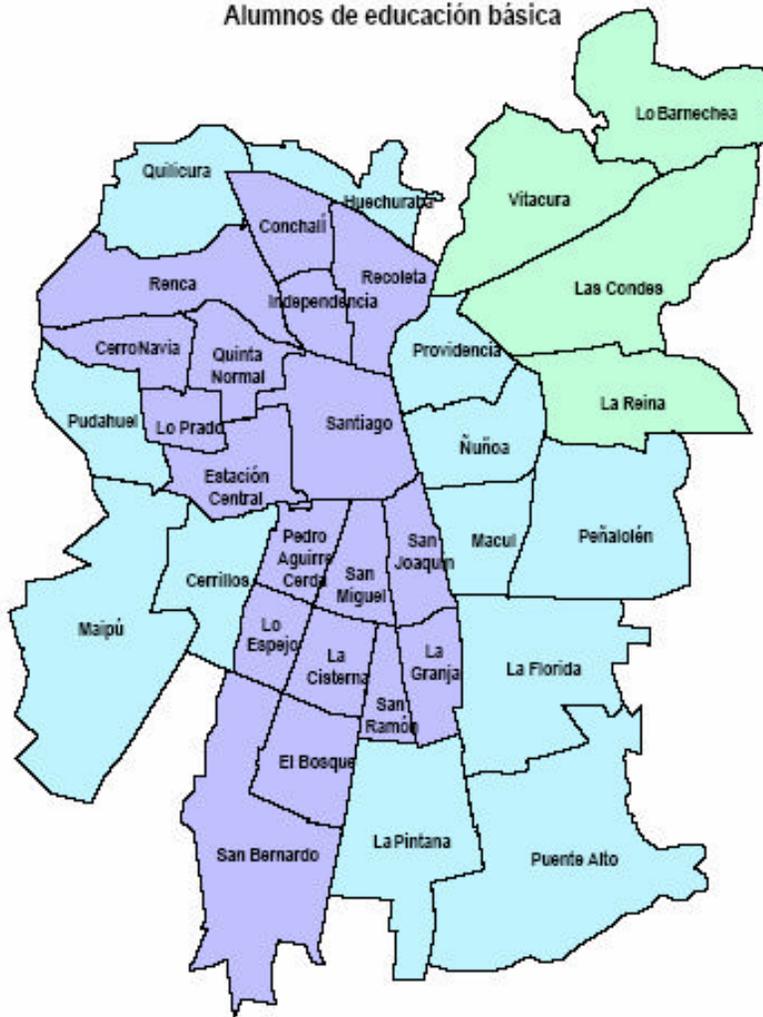
Area Comercial (minorista)



Area Industrial



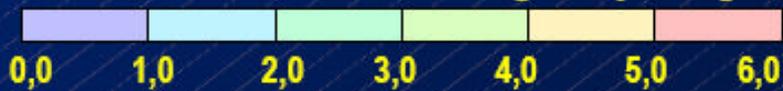
Alumnos de educación básica



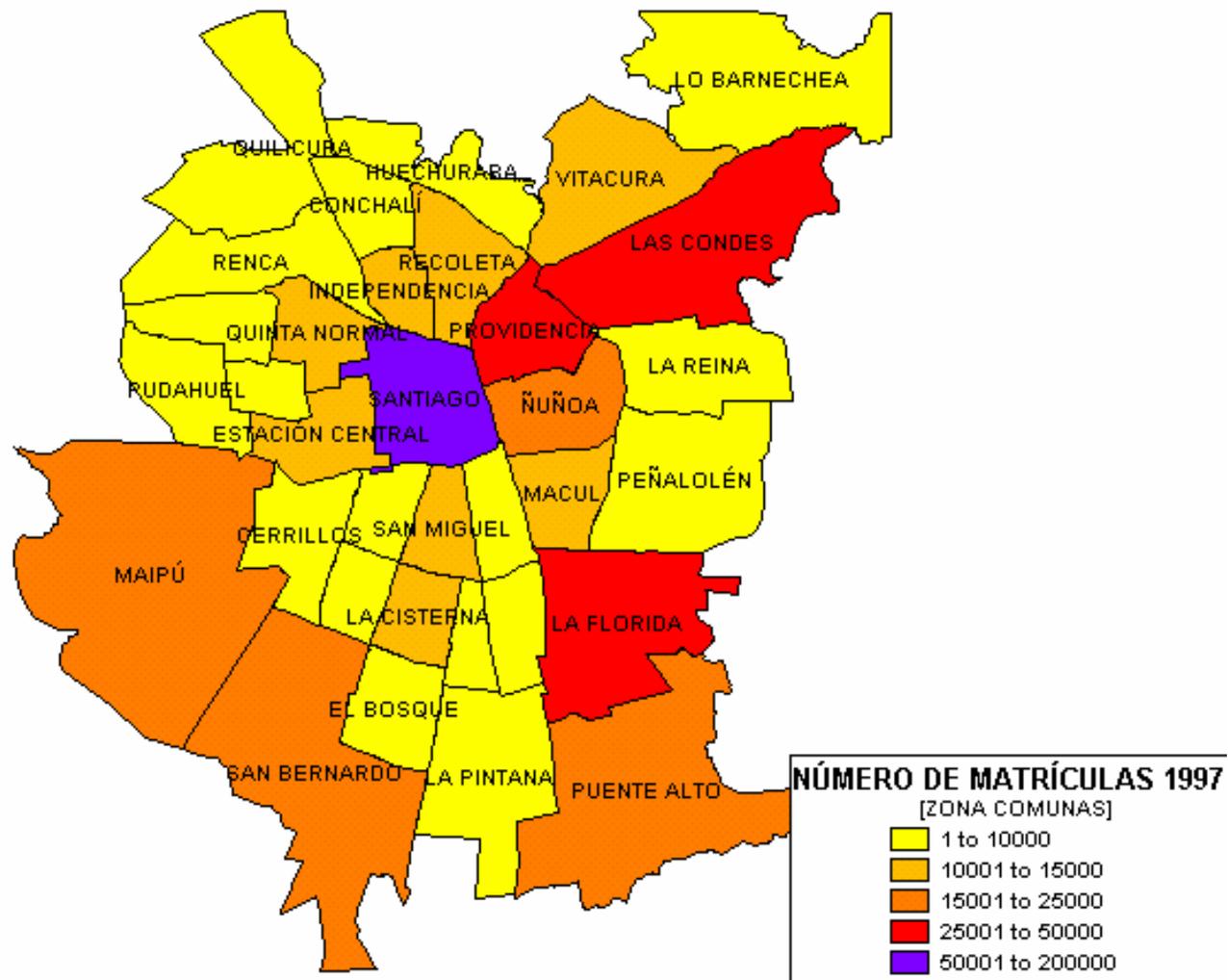
Alumnos de educación media



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 ↔ Calidad de Vida
- Planificación Transporte ↔ Ciudad
- Planificación Transporte ↔ 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

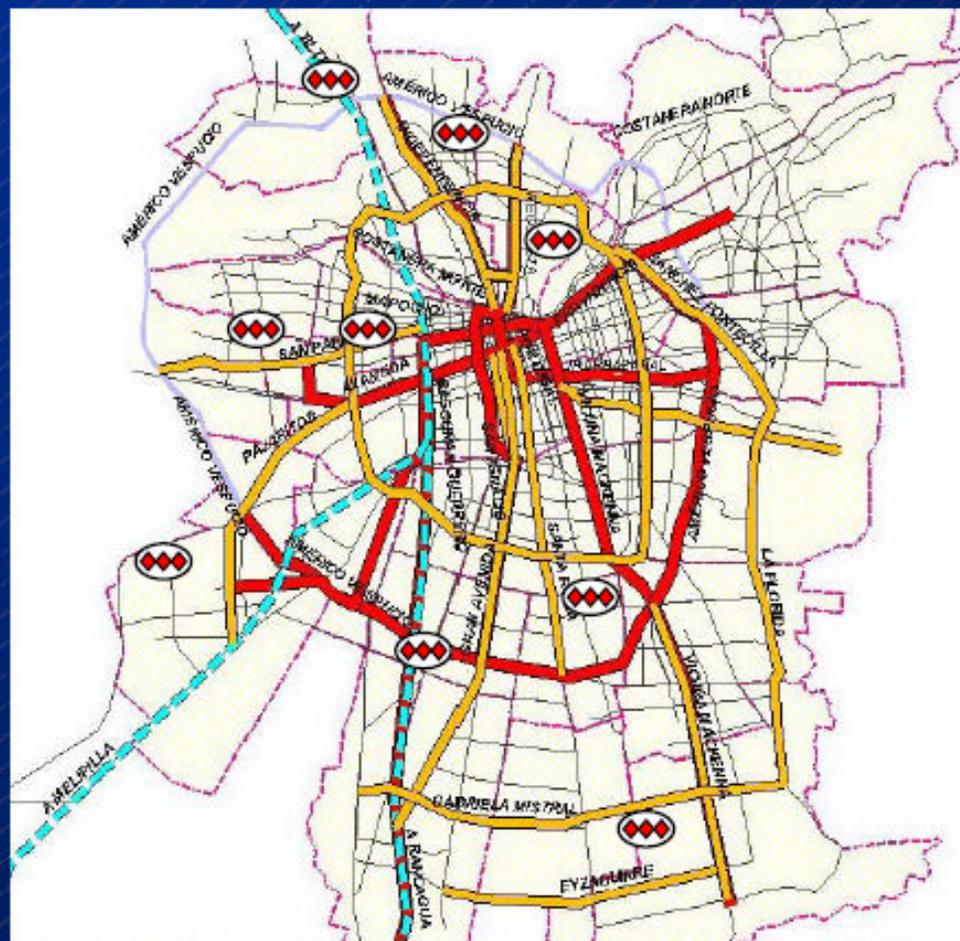


Programa 12
Institucionalidad



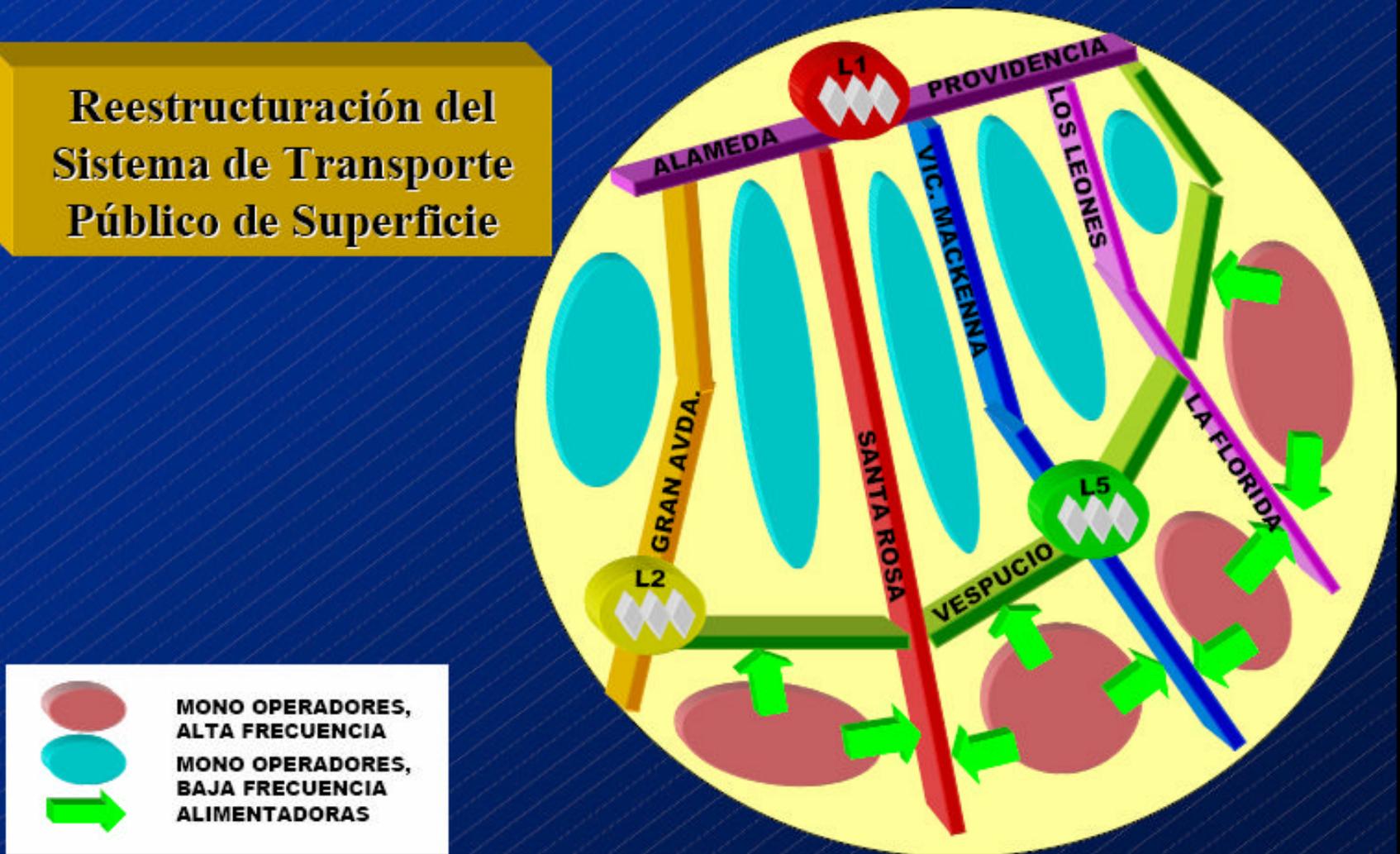
ESTRAUS: herramienta de análisis del PTUS

Programa 1: Modernización del Sistema de Transporte Público



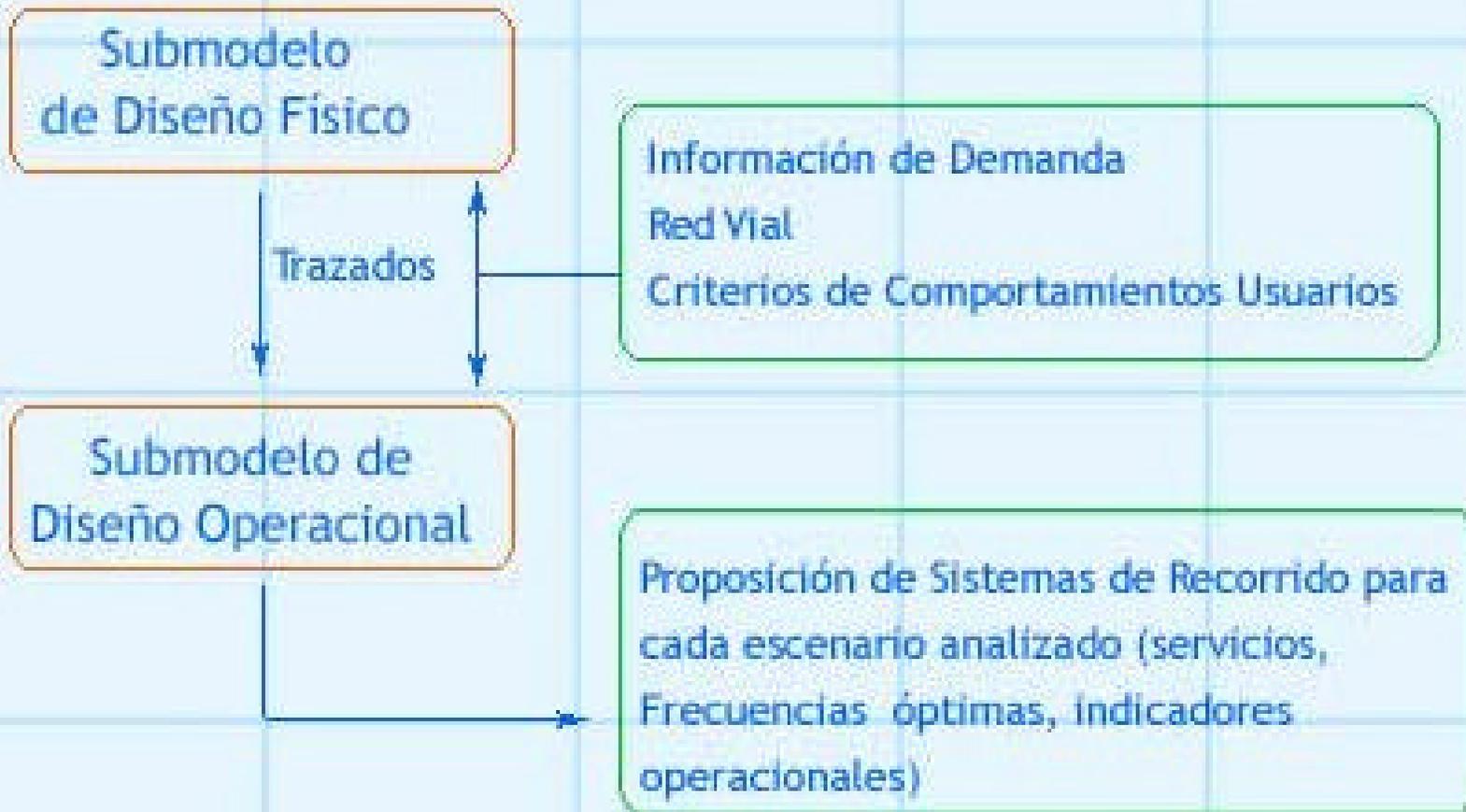
ESTRAUS: herramienta de análisis del PTUS

Reestructuración del Sistema de Transporte Público de Superficie

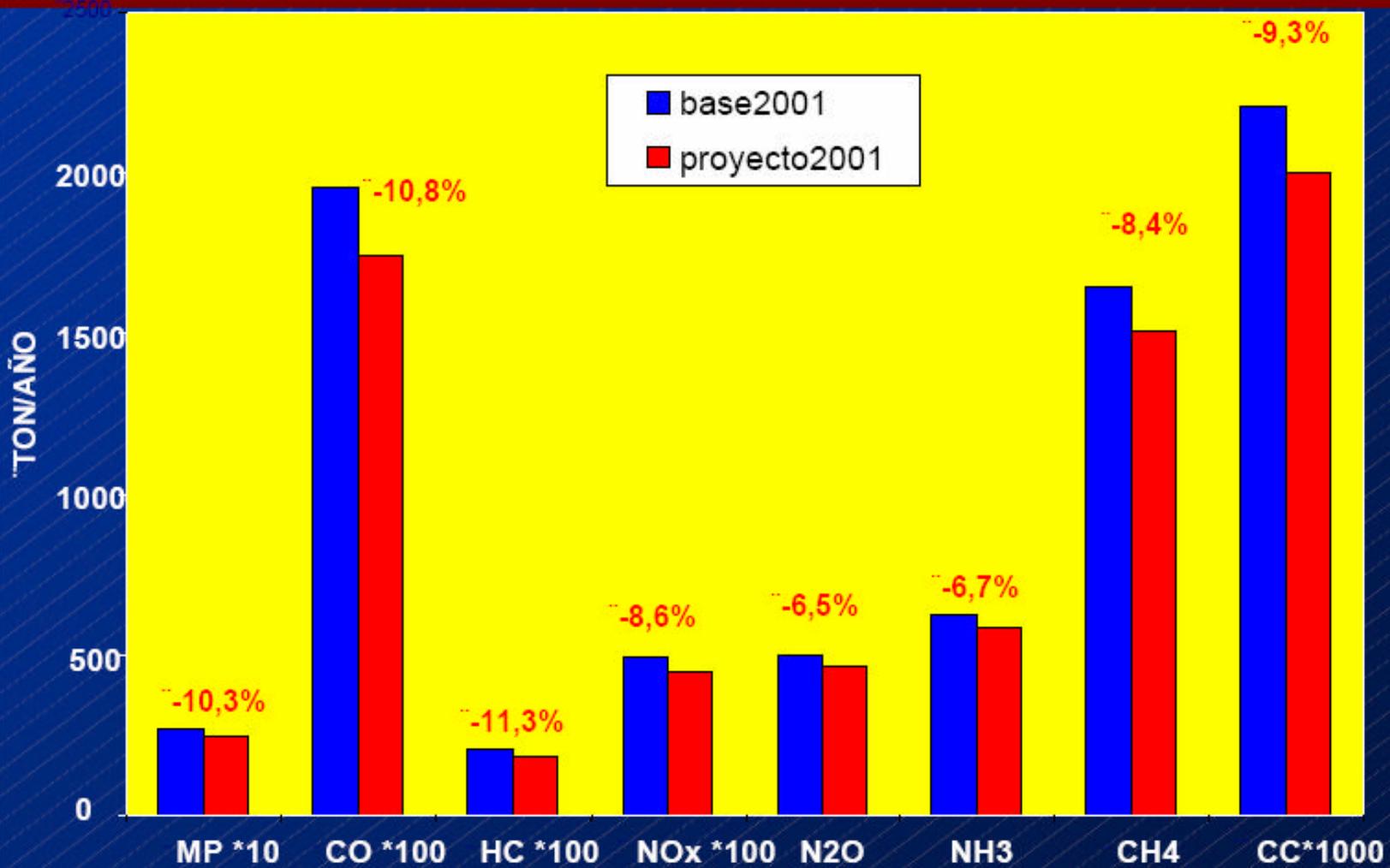


MODELO DE DISEÑO

Modelo:



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, ESTRAUS 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 ESTRAUS en los próximos años.

FIN

