

# Modelo de 5 Etapas

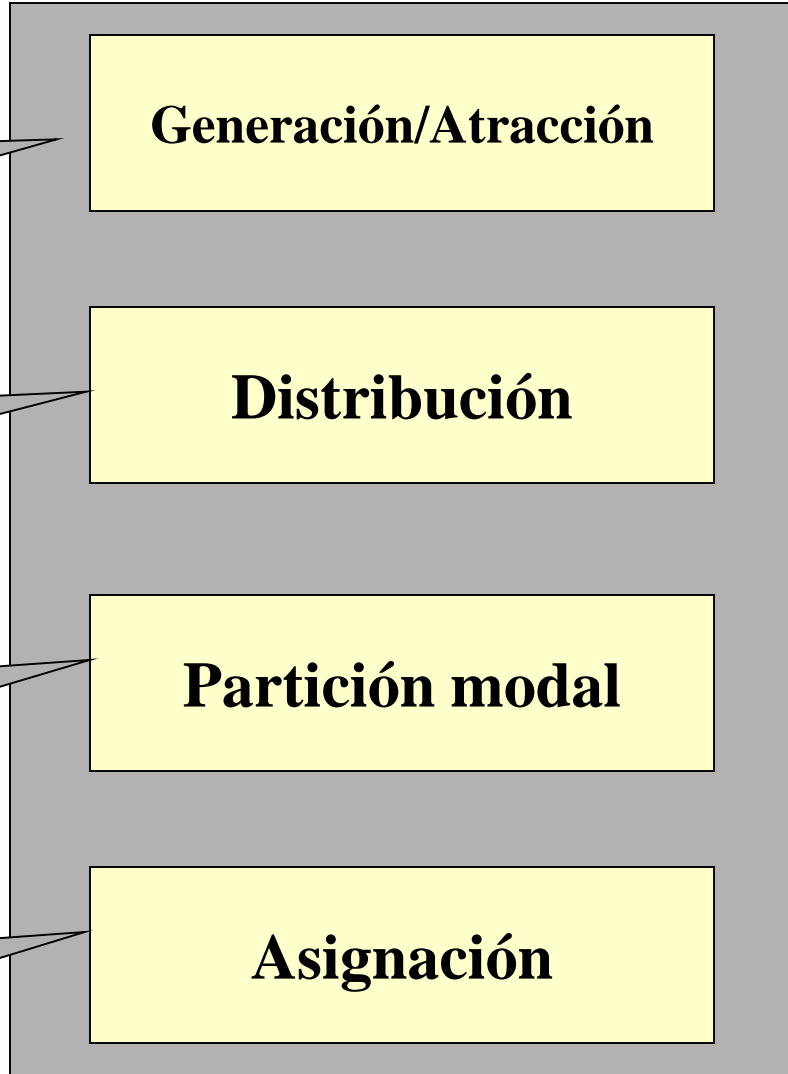
## Decisiones de transporte (urbano)

- ¿Dónde localizar actividades?      Uso de suelo
- ¿Qué actividades realizar?      Frecuencia
- ¿Dónde realizarlas?      Distribución
- ¿Cómo viajar?      Modo
- ¿Ruta?      Asignación

**Población, Ingreso, Motorización  
Espacio, Atributos naturales**

**Uso de suelo**

**Actividades**



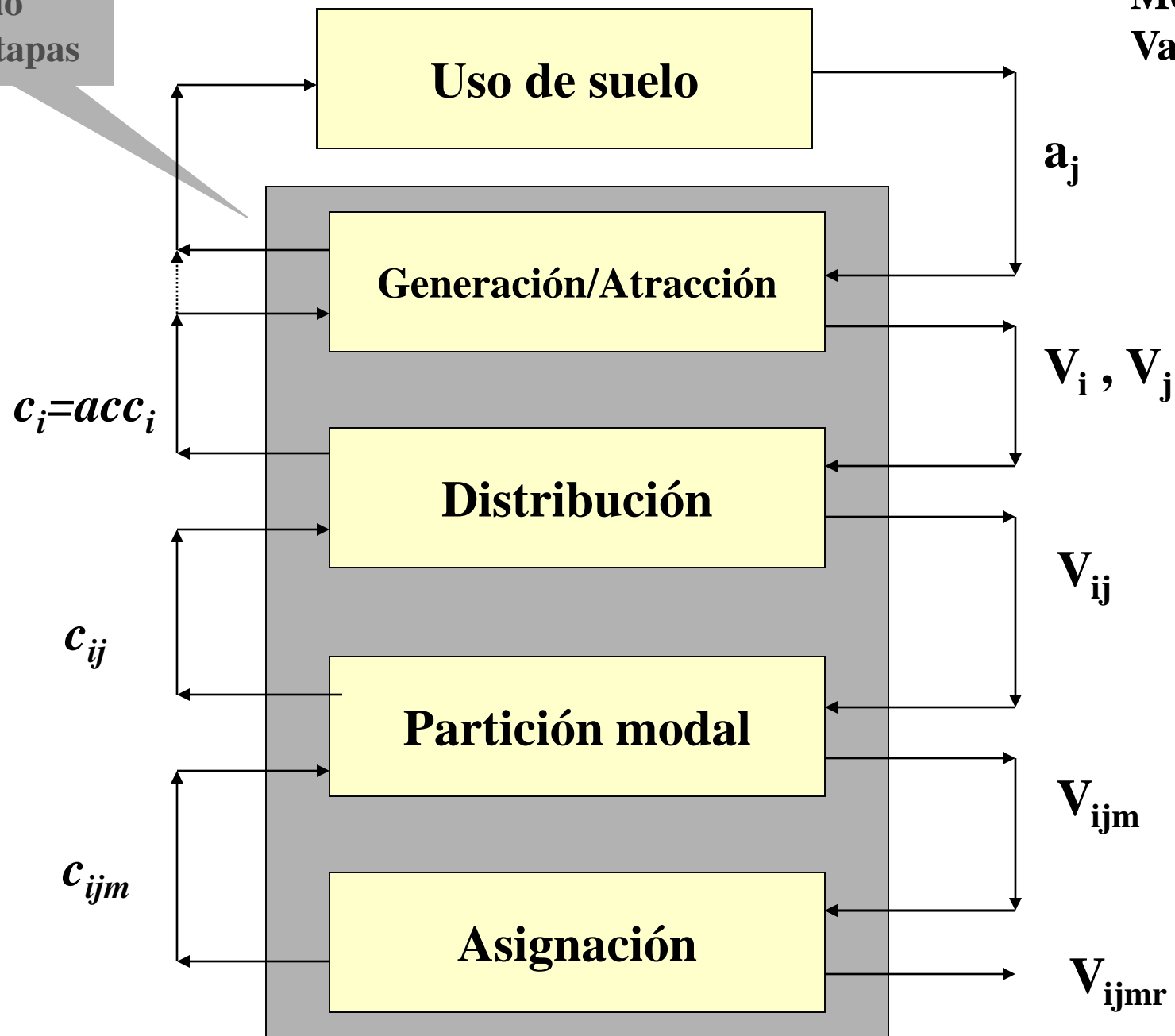
**Uso del suelo  
Costos por par OD**

**Modos y sus atributos  
(tiempos, costo, comodidad)**

**Curvas de congestión,  
capacidades, red (arcos y nodos)**

Modelo  
de 4 etapas

Modelos y  
Variables



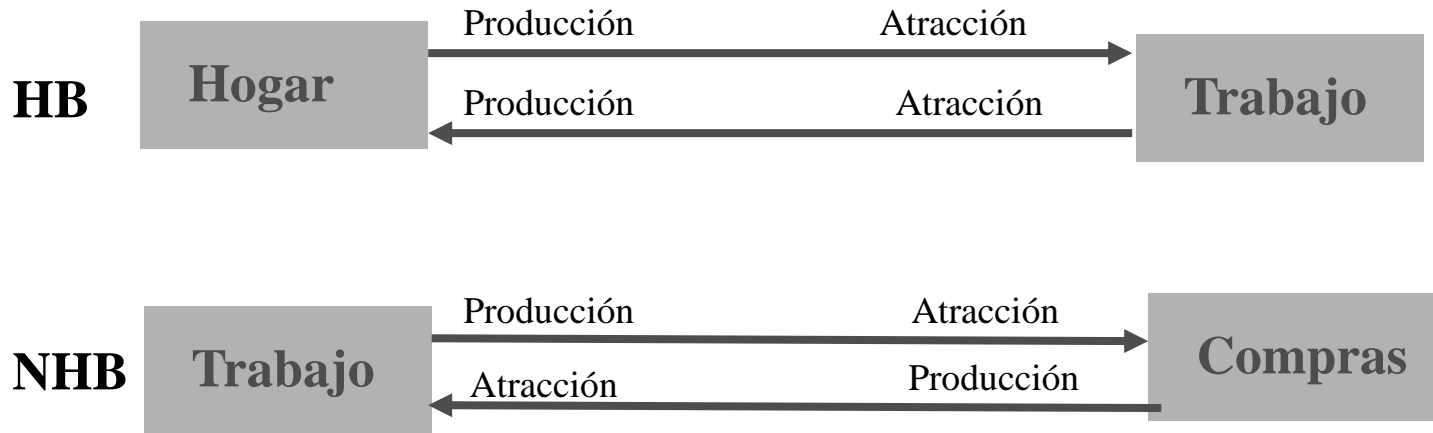
# Modelos de generación/atracción

- Estiman la frecuencia de los viajes
- Segmentación:
  - **m** modo
  - **p** propósito
  - **t** periodo
  - **i** zona origen
  - **j** zona destino
  - **r** ruta

**V**<sub>ijmr</sub>

# Generación y Atracción

- Basados en el hogar (BH) (en origen o destino)
- No basados en el hogar (NBH)



# Generación y Atracción

Viajes de personas dependen de:

- Producción:
  - Estudios por hogar: Ingreso, Tasa Motorización, Tamaño del hogar
  - Estudios zonales: Valor del suelo, Densidad residencial, Accesibilidad
- Atracción
  - Uso del suelo ( $m^2$ ), número de empleos y accesibilidad.

Viajes de cosas - producción y atracción-:

- Número de empleados
- ventas
- áreas construidas o total de la firma

# Generación y Atracción

## Métodos de cálculo

- Factor de crecimiento:  $V_i = F_i t_i^0$

con

$$F_i = \frac{f(P_i^d, I_i^d, C_i^d)}{f(P_i^o, I_i^o, C_i^o)}$$

- Regresión lineal múltiple:

– basada en zonas

– basada en hogares

$$T_i = \theta_0 + \theta_1 X_{1i} + \theta_2 X_{2i} \dots + e_i$$

*Concordancia:*

$$\sum_i O_i = \sum_j D_j$$

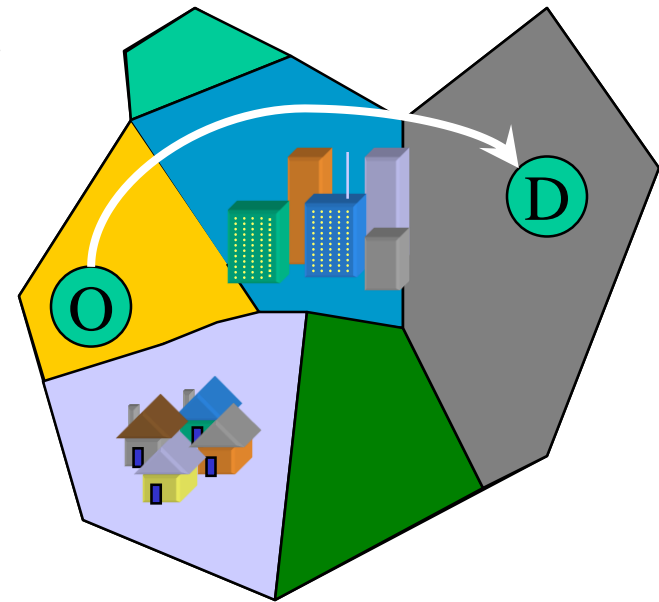
# Definiciones Preliminares

- **Viaje:** Movimiento en un sentido desde un punto origen a un punto destino con un propósito determinado.

Para efectos de los modelos de transporte se considera como viajes aquellos de más de 2 cuadras, aceptando además que todo movimiento en auto es un viaje.

*Observación:* Para efectos de la exposición se analizará sólo la generación y atracción de viajes personales

- **Área de Estudio**
  - Zonificación
- **Escenarios de Uso de Suelos**





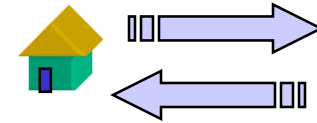
# Tipos de Viajes

- Clasificación de Viajes según extremo en el hogar

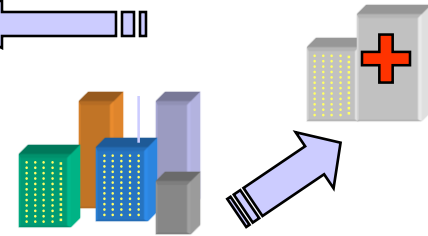
- Viajes basados en el hogar (bh) aquellos con algún extremo en el hogar

- Viajes basados en hogar de ida (bhi)

- Viajes basados en hogar de regreso (bhr)



- Viajes no-basado en el hogar (nbh) aquellos sin ningún extremo en el hogar



- Clasificación de Viajes según Propósito

- trabajo
- estudio
- compras
- diligencias
- salud
- social y recreacional
- otros

# Categorización de la Demanda

- Existen muchas formas de estratificar, por ejemplo considerando:
  - Propósito de Viaje
  - Nivel de Ingreso
  - Posesión de Automóvil
  - Tamaño del Hogar
  - Edad
- Para una metodología simplificada, la experiencia sugiere clasificar por:
  - Propósito de Viaje
  - Categoría de hogar a la que pertenece el individuo

# Categorización de la Demanda

- Principales Propósito de Viaje (en períodos AM y FP)
  - Trabajo
  - Estudio
  - Otros
- Los hogares se clasifican de acuerdo a:
  - Ingreso Familiar
  - Tasa de Motorización

# Ejemplo: Categorías en Estudios de Ciudades Intermedias

<b>Nivel de Ingreso</b>		<b>Posesión de Automóvil</b>		
<b>Rango</b>	<b>Ingreso (\$)</b>	<b>sin auto</b>	<b>1 auto</b>	<b>2 o más</b>
Bajo	0 - 170.000	1	2	3
Medio	170.000 - 565.000	4	5	6
Alto	565.000 o más	7	8	9

# Modelos de Generación y Atracción de Viajes

- El modelo de transporte requiere como dato vectores de Origen (generación) ( $O_i^{pn}$ ) y Destino (atracción) ( $D_j^p$ ) en lo posible para cada propósito de viaje y categoría de demanda.
- Objetivo determinar cuántos viajes genera (salen) y atrae (llegan) cada zona en un período y corte temporal determinado, clasificados por propósitos de viaje y categoría de demanda.
- Idealmente se debería estimar vectores para cada propósito y categoría de demanda. Sin embargo, como las categorías se relacionan con los hogares, esto sólo es posible para viajes originados en el hogar. (mayoritarios en AM aprox. 90%)
  - » En el caso de las atracciones, como generalmente el destino es distinto del hogar (en AM y FP), se clasifican sólo por propósito.

# Modelos de Generación y Atracción de Viajes

- Por lo tanto, el modelo propuesto supone determinar:
  - $O_i^{pn}$  : Número de viajes generados en la zona  $i$ , de la categoría  $n$ , con propósito  $p$ .
  - $D_j^p$  : Número de viajes atraídos por la zona  $j$  con propósito  $p$ .
  - Los vectores generados deben satisfacer:

$$\sum_i \sum_p \sum_n O_i^{pn} = \sum_j \sum_p D_j^p$$

“Todos los viajes que salen de una zona llegan a otra”

# Modelos de Generación y Atracción de Viajes

- Tipos de Modelos de Generación y Atracción de Viajes:

- Factor de Crecimiento

$$O_i^{t+1} = F_i \cdot O_i^t$$

- Análisis por Categorías

- Regresión Lineal Múltiple (RLM)

- Análisis de Clasificación Múltiple (ACM)

- » La utilización de estos modelos, así como ventajas y desventajas, será tratada al revisar su aplicación para distintos tipos de viajes

# Modelos de Generación de Viajes

- La generación de viajes más importante corresponde:
  - Viajes basados en el hogar de ida (bhi)
  - Viajes basados en el hogar de retorno (bhr)
  - Viajes no originados en el hogar (nbh)

Es decir:

$$O_i^{pn} = O_{i(bhi)}^{pn} + O_{i(bhr)}^{pn} + O_{i(nbh)}^{pn}$$



## Generación de Viajes Basados en el Hogar de Ida (bhi)

- Metodología más utilizada tasas de generación por hogar a partir del número de hogares de cada zona.

$$O_{i(bhi)}^{pn} = H_i^n \cdot t^{pn}$$

Donde:

$O_{i(bhi)}^{pn}$  : Número de viajes con propósito  $p$  generados por los hogares de categoría  $n$  de la zona  $i$

$H_i^n$  : Número de hogares de categoría  $n$  en la zona  $i$

(dato obtenido a partir de información socioeconómica independiente, por ejemplo Censo poblacional)

$t^{pn}$  : Tasa de generación de viajes con propósito  $p$  de los hogares de categoría  $n$ . (valor a determinar)

# Generación de Viajes Basados en el Hogar de Ida (bhi)

- Para obtener  $t^{pn}$  tradicionalmente se utilizaron modelos de Análisis por Categorías (Douglas y Lewis, 1971)
- Sin embargo, estos modelos presentan los siguientes problemas:
  - Requieren grandes tamaños muestrales.
  - Baja representatividad de las tasas calculadas para las categorías extremas, donde el número de hogares en la muestra puede ser demasiado pequeño (ej. hogares de bajos ingresos con dos o más autos)
  - No existe forma de verificar la bondad de las variables escogidas ni del modelo.

# Generación de Viajes Basados en el Hogar de Ida (bhi)

- Para superar estos inconvenientes se sugiere una variación a los modelos de Análisis por Categorías denominada Análisis de Clasificación Múltiple (ACM)
- El método de tasas ACM corresponde a una extensión del método estadístico de Análisis de Varianza ANOVA (Stopher y McDonald, 1983)
- El método ACM se basa en el valor de una tasa media global para todas las categorías y en las tasas medias de cada nivel en que se particionan las distintas variables de categorización

# Generación de Viajes Basados en el Hogar de Ida (bhi)

- Principales ventajas del Método ACM son:
  - Permite obtener una estimación global de la bondad de ajuste del esquema de clasificación escogido.
  - Dispone de medidas estadísticas que permiten seleccionar entre esquemas alternativos de categorización
  - La determinación de la tasa de una categoría específica, no depende del número de observaciones para esa categoría.
  - Por lo anterior, el método reduce la incertidumbre de los valores correspondientes a las categorías extremas, que suelen ser cruciales para las predicciones futuras.
  - La aplicación es muy sencilla.

# Generación de Viajes Basados en el Hogar de Ida (bhi)

- Aplicación del Método ACM:
  - Estimar una media general para el valor de la variable dependiente (en este caso, tasa de generación de viajes) usando la muestra completa de hogares disponible.
  - Estimar una media de grupo para cada nivel de estratificación de cada variable independiente (por ej. ingreso y tasa de motorización) sin considerar las divisiones según niveles de las otras variables independientes.
  - Finalmente se calcula la tasa de generación de cada categoría cruzada (cruce de niveles de las variables independientes) corrigiendo el valor de la media global, según las desviaciones que con respecto a ella presenten las medias de grupo de los niveles de cada variable que definen la categoría.

$$x_{ij}^* = \langle x \rangle + (x_i - \langle x \rangle) + (x_j - \langle x \rangle)$$

$$x_{ij}^* = x_i + x_j - \langle x \rangle$$

# Ejemplo: Aplicación de Tasas ACM para Curicó

Tasas Generadas con Método de Análisis por Categorías para trabajo AM

<b>Nivel de Ingreso</b>	<b>Número de Autos</b>		
	<b>Sin Auto</b>	<b>1 Auto</b>	<b>2 o más</b>
<b>Bajo</b>	0,5758	0,6311	0,5000
<b>Medio</b>	0,7182	0,7713	0,9167
<b>Alto</b>	0,3333	1,0000	0,7742

Tasas Generadas con el Método ACM para trabajo AM

<b>Nivel de Ingreso</b>	<b>Número de Autos</b>			
	<b>Sin Auto</b>	<b>1 Auto</b>	<b>2 o más</b>	<b>Promedio</b>
<b>Bajo</b>	0,5292	0,6660	0,7208	0,5734
<b>Medio</b>	0,7039	0,8406	0,8955	0,7481
<b>Alto</b>	0,7755	0,9122	0,9671	0,8197
<b>Promedio</b>	0,5930	0,7297	0,7846	0,6372

## Calculo de tasas ACM

**Ejemplo**

**zona 45**

tasa=N°viajes / N° hogares

	Número de Autos					
Nivel de Ingreso	Sin Auto	1 Auto	2 o más	total viajes	Hogares	tasa
Bajo	1.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.00
Medio	6.000	10.000	5.000	21.000	14.000	1.50
Alto	1.000	1.000	3.000	5.000	3.000	1.67
<b>total viajes</b>	<b>8.000</b>	<b>11.000</b>	<b>8.000</b>	<b>27.000</b>		
<b>Hogares</b>	<b>7.000</b>	<b>8.000</b>	<b>3.000</b>		<b>18.000</b>	
<b>tasa</b>	<b>1.14</b>	<b>1.38</b>	<b>2.67</b>			<b>1.50</b>
	Número de Autos					
Nivel de Ingreso	Sin Auto	1 Auto	2 o más	tasa		
Bajo	0.643	0.875	2.167	1.00		
Medio	1.143	1.375	2.667	1.50		
Alto	1.310	1.542	2.833	1.67		
<b>tasa</b>	<b>1.143</b>	<b>1.375</b>	<b>2.667</b>	<b>1.500</b>		

# Generación de Viajes Basados en el Hogar de Retorno (bhr) y Generación de Viajes No Basados en el Hogar (nbh)

- En este caso los hogares de cada tipo no pueden ser utilizados como variable explicativa, ya que el origen del viaje no es el hogar.
  - » Ejemplo: centro de una ciudad en FP.
- Estos viajes generalmente se estiman utilizando modelos de Regresión Lineal Múltiple (RLM) a nivel zonal.
- Las variables explicativas utilizadas en estos modelos normalmente se relacionan con uso de suelos y actividades realizadas en la zona.
- De esta forma, son similares a las consideradas en los modelos de RLM de atracción de viajes, exceptuando que en este caso no se incluye el número de hogares.



# Generación de Viajes Basados en el Hogar de Retorno (bhr) y Generación de Viajes No Basados en el Hogar (nbh)

- Dado que los modelos de generación deben clasificarse por categoría, existen dos alternativas:
  - Calibrar modelos RLM por categoría
    - Caso más deseable
      - » Principal limitación es el número de observaciones necesarias por categoría.
  - Calibrar modelos RLM conjuntos (sin distinción de categorías) y luego aplicar factores
    - Requiere conocer el porcentaje de viajes bhr generados por cada zona de acuerdo a las categorías de demanda.
      - » Dato difícil de obtener a menos que se cuente con una EOD.

# Modelos de Atracción de Viajes

- Para viajes con destino distinto al hogar, es decir, viajes bhi y nbh
  - Las variables explicativas corresponden normalmente a equipamientos por zona dedicados a cada actividad, y no a hogares.
  - Se utilizan modelos de Regresión Lineal Múltiple (RLM) calibrados a nivel zonal para cada propósito y período de análisis definido.
- Para viajes con destino al hogar (viajes bhr)
  - En este caso como el destino del viaje es el hogar, la única variable explicativa será el número de hogares por zona.
  - Se puede utilizar modelos de Regresión Lineal Simple (RLS) o modelos de Tasas ACM de atractividad para estimarlos.

# Modelos de Atracción de Viajes

- Modelo General de Regresión Lineal Múltiple (RLM)

$$D_j^p = \theta_0 + \sum_k \theta_{jk} \cdot X_{jk} + E_j$$

Donde:

$D_j^p$  : Número de viajes con propósito  $p$  atraídos por la zona

$\theta_k^j$  : Parámetros de calibración

$X_{jk}$  : Variables explicativas (promedios zonales)

$E_j$  : Error de estimación de la zona  $j$

# Modelos de Atracción de Viajes

- Variables explicativas utilizadas por propósito de viaje ( $X_j^k$ ):
  - Viajes con propósito Trabajo (actividades que ofrecen empleo)
    - » m<sup>2</sup> de comercio
    - » m<sup>2</sup> de oficinas
    - » m<sup>2</sup> de servicios
    - » m<sup>2</sup> de industrias
  - Viajes con propósito Estudio (establecimientos educacionales)
    - » número de matriculas por nivel de educación: básica, media y superior
  - Viajes con Otros propósitos (compras, diligencias, salud, etc.)
    - » m<sup>2</sup> de comercio
    - » m<sup>2</sup> de servicios
    - » atenciones de salud
    - » hogares en la zona (para explicar viajes con motivos sociales)

# Calibración de Modelos de Generación y Atracción de Viajes

- Recomendación de Modelos a Calibrar según Tipo de Viajes

<b>Tipo de Viaje</b>	<b>Generación</b>	<b>Atracción</b>
<b>bhi</b>	tasas ACM (1)	RLM (2)
<b>bhr</b>	RLM (1)	RLS (3) tasas ACM (2)
<b>nbh</b>	RLM (1)	RLM (2)

# Calibración de Modelos de Generación y Atracción de Viajes

- Validación de Modelos de Tasas ACM
  - Tasas de generación sean estadísticamente distintas para cada categoría de ingreso y cada categoría de tasa de motorización
    - » Rechazar hipótesis que las tasas de generación sean iguales para distintas categorías de ingreso
    - » Rechazar hipótesis que las tasas de generación sean iguales para distintas categorías de tasa de motorización
  - Existencia de efectos interactivos entre las categorías de ingreso y la tasa de motorización para explicar la generación de viajes
    - » Rechazar hipótesis que no existen efectos interactivos entre las variables explicativas

# Calibración de Modelos de Generación y Atracción de Viajes

- Validación de Modelos de Regresión Lineal Múltiple RLM
  - Chequear que los parámetros presenten signos correctos
    - » Ejemplo: En atracción de viajes al estudio el parámetro asociado a número de matriculas básicas debe ser positivo
  - Parámetros sean significativos (test t)

# Consultas

