

Modelos de Generación y Atracción de Viajes

Construyendo el motor del modelo clásico de transporte urbano.



El ecosistema del viaje

El objetivo principal de la primera etapa del modelo clásico de transporte es estimar la cantidad de viajes que interactúan en un sistema urbano. Todo este proceso se alimenta de encuestas origen-destino (O-D) realizadas en hogares.



Traducción práctica: Antes de saber por dónde viaja la gente, necesitamos saber cuántos viajes se producen y hacia dónde van.

Anatomía de un viaje

Conceptualmente, un viaje es un movimiento entre un origen y un destino con un propósito.

Viajes Basados en el Hogar (HB)

Producción (¡Siempre!)



Atracción



Viajes No Basados en el Hogar (NHB)



Atracción



Producciones vs. Atracciones:

Una **producción** es cualquier viaje que tiene al hogar como uno de sus extremos.

Una **atracción** es el extremo no-hogar.

Segmentando la demanda para mayor precisión

Los viajes no son homogéneos. Para definir modelos diferenciados y precisos, los datos se clasifican en tres dimensiones clave.

Por Propósito



Trabajo



Estudio



Compras



Sociales

Por Hora del Día



Punta mañana



Fuera de punta



Punta tarde

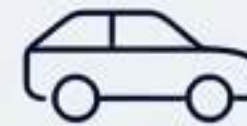


Total diario

Por Tipo de Hogar



Nivel de ingreso



Posesión de auto



Tamaño/estructura del hogar

Nivel de agregación: ¿Hogar o Zona?

Generación = Nivel Hogar



Se abandona el límite zonal. La varianza dentro de una zona es demasiado alta. El hogar captura el comportamiento real.

Atracción = Nivel Zonal

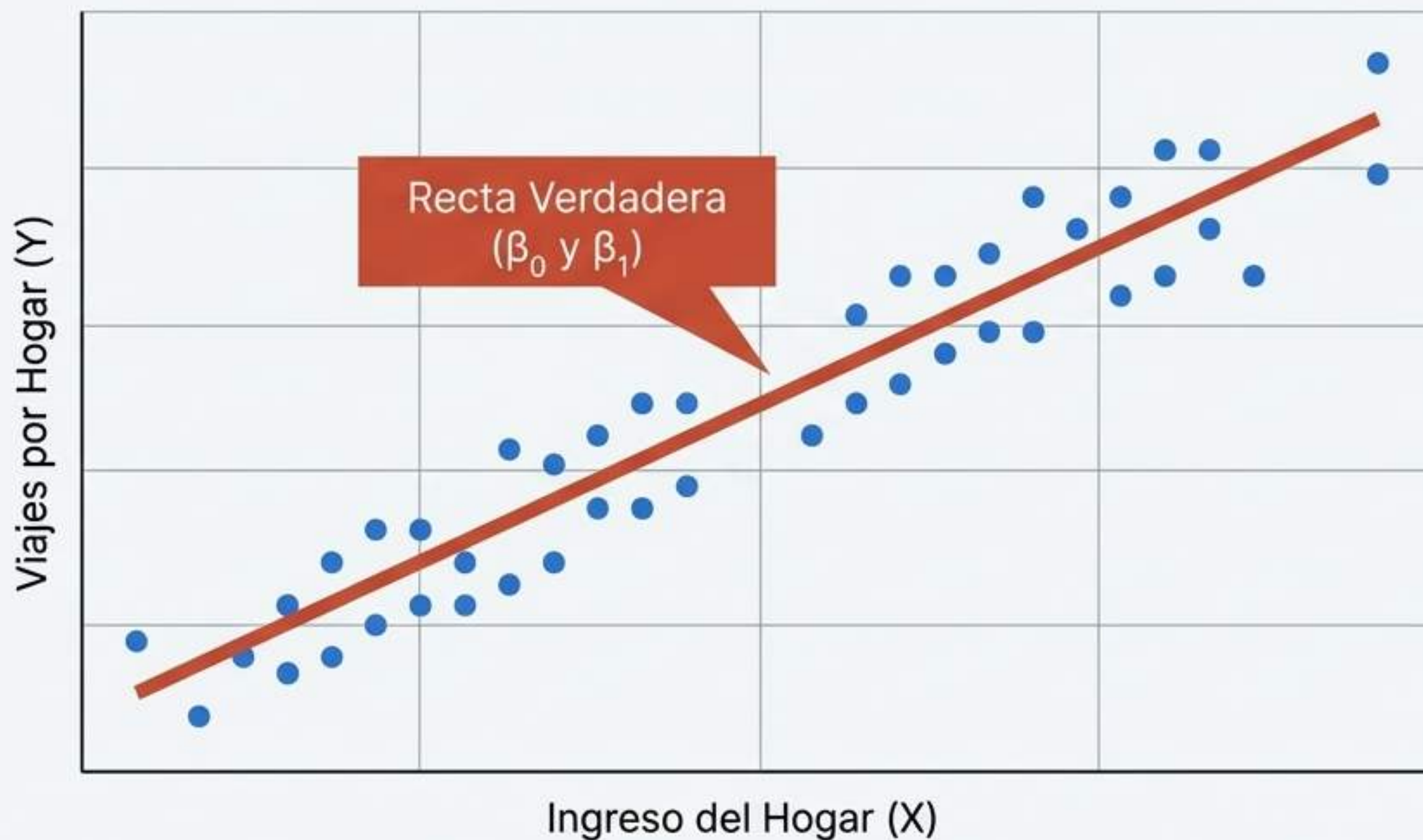


Adecuado para modelos zonales porque las variables (empleos, escuelas, comercio) son intrínsecamente espaciales.

Traducción práctica: Modelar personas individuales falla por las dinámicas familiares. Modelar zonas enteras para generación oculta la realidad. El Hogar es la unidad perfecta para la generación.

Regresión Lineal: Prediciendo el comportamiento

El objetivo es cuantificar la tendencia observada mediante una expresión analítica (la recta de regresión) para predecir viajes futuros.



Las 3 Hipótesis de Trabajo:

1. Existe una recta verdadera (intercepto y pendiente).

2. Homocedasticidad (variabilidad constante de viajes en todos los niveles de ingreso).

3. Observaciones independientes (los viajes de un hogar no afectan a otro).

Mínimos Cuadrados: Ajustando la realidad

¿Cómo dibujamos la mejor línea a través del caos de datos?
Minimizando la suma de los errores de predicción al cuadrado.



Se extiende al caso multivariado (múltiples variables X) mediante resolución matricial:

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

Insesgadez

El valor esperado de los estimadores coincide con la realidad poblacional.

Eficiencia

Tienen la menor varianza entre los estimadores lineales posibles.

Penalización

Al elevar el error al cuadrado, el modelo castiga severamente las discrepancias grandes.

Radiografía del modelo: Análisis y validación

Criterios Estadísticos

- **Test t:** ¿Aporta la variable? (Valor > 1.96 para 95% de confianza indica que el parámetro es distinto de cero).
- **R^2 (Coeficiente de determinación):** ¿Qué tanto explica el modelo? (1 = Ajuste perfecto, 0 = No explica nada).



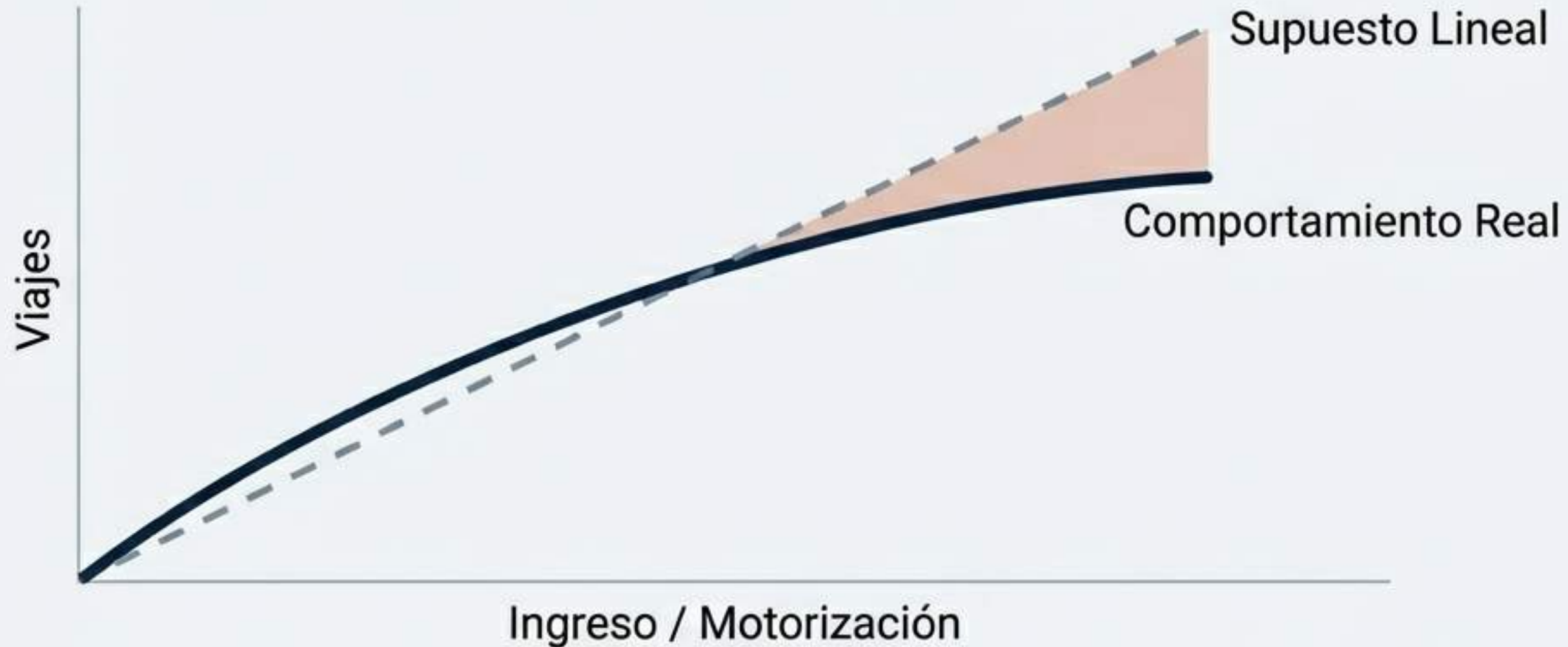
Criterios Teóricos

- **Signo esperado:** Si el modelo dice que un $\uparrow$ aumento de ingresos $\downarrow$ reduce los viajes, es conceptualmente incorrecto, incluso si la estadística es perfecta.

Traducción práctica: El modelo ideal requiere que una **variable relevante tenga significancia estadística Y un signo lógico.**

El límite de la linealidad

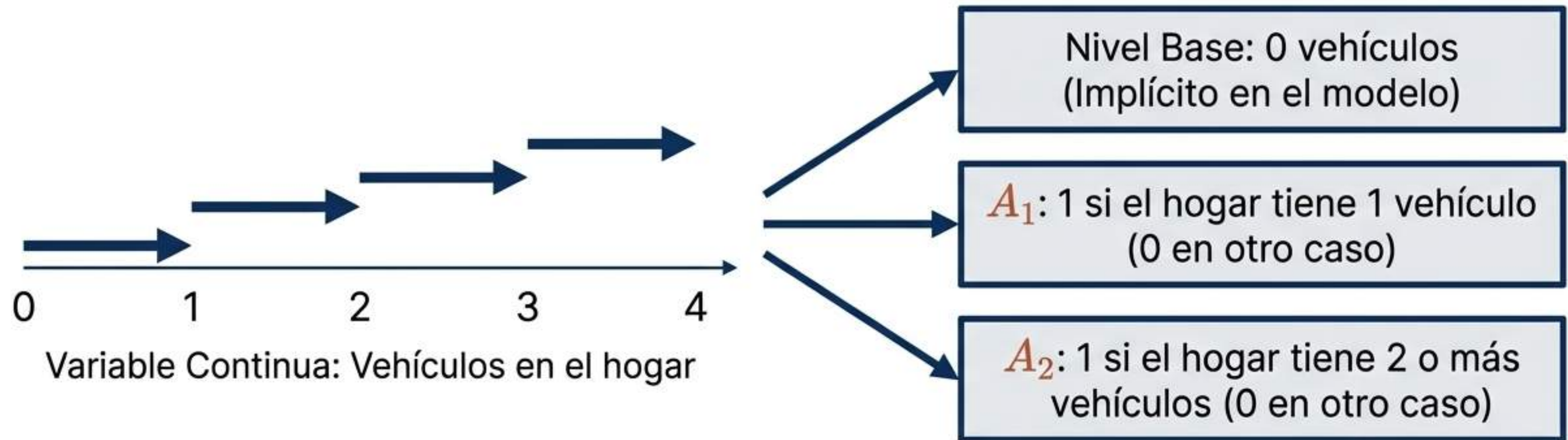
Al evaluar el modelo, surgen desajustes sistemáticos. Los viajes aumentan con el ingreso o la motorización, pero a una tasa decreciente (crecimiento menos que proporcional).



¿Cómo capturamos esto en las matemáticas? Tenemos dos opciones: Transformaciones funcionales (logaritmos) o la segmentación mediante **Variables Mudas**.

Variables Mudadas (Dummy): ¿Qué son?

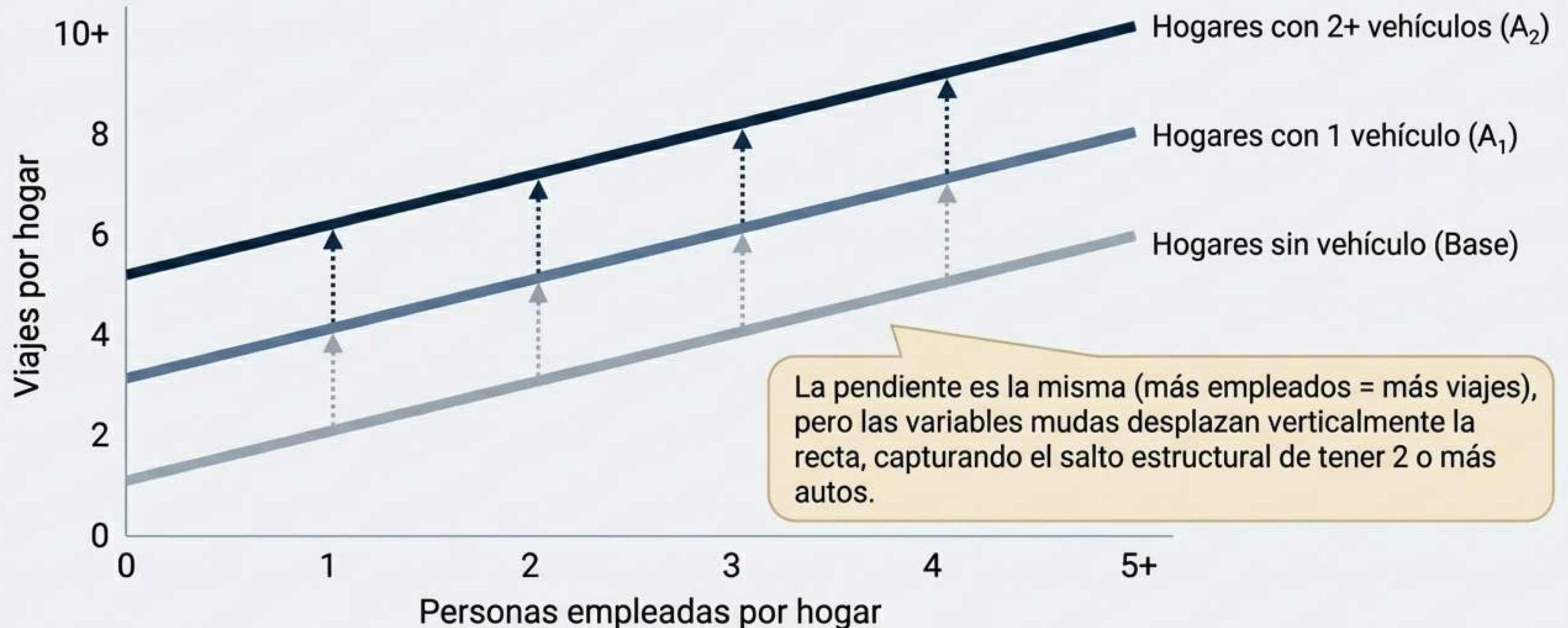
Las variables mudadas discretizan una variable continua (como el número de vehículos) en intervalos disjuntos, representados por valores binarios (0 o 1).



Traducción práctica: En lugar de tratar vehículos como una rampa infinita, las variables mudadas lo tratan como un sistema de escaleras con niveles definidos.

El poder visual de las Variables Mudadas

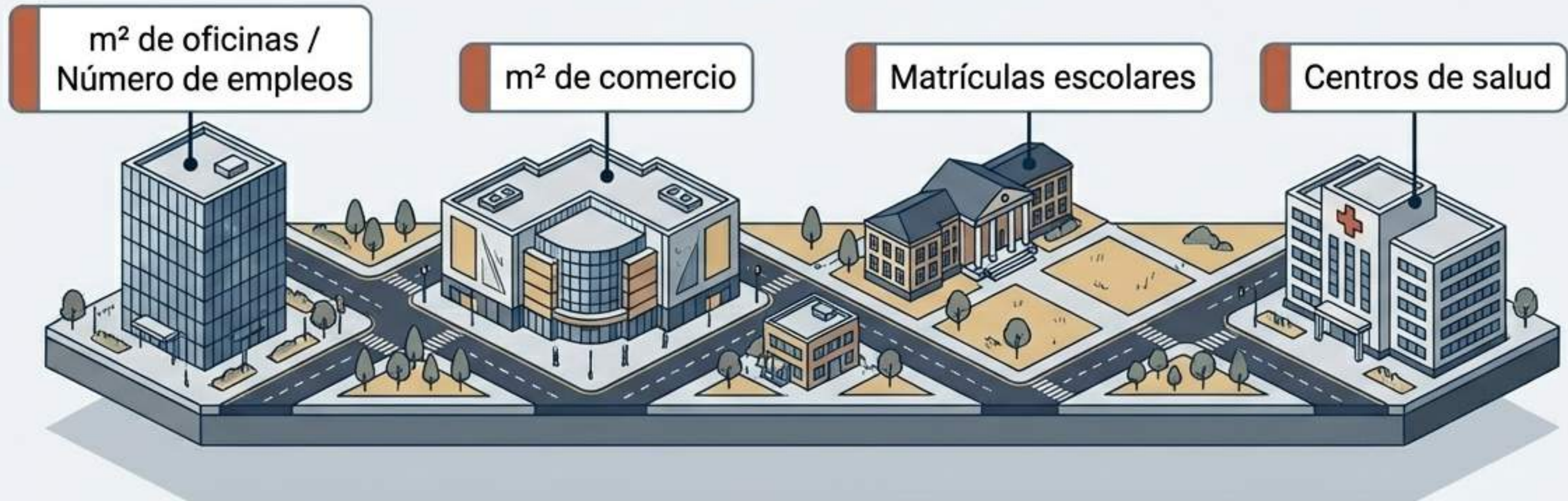
Permiten modelar no linealidades y saltos estructurales entre categorías, logrando estimaciones más robustas sin aumentar la complejidad matemática.



El modelo de Atracción de Viajes

Conceptualmente el complemento de la generación. Se modela a nivel zonal porque las variables que explican por qué una zona atrae viajes son inherentemente espaciales.

Variables Explicativas Típicas



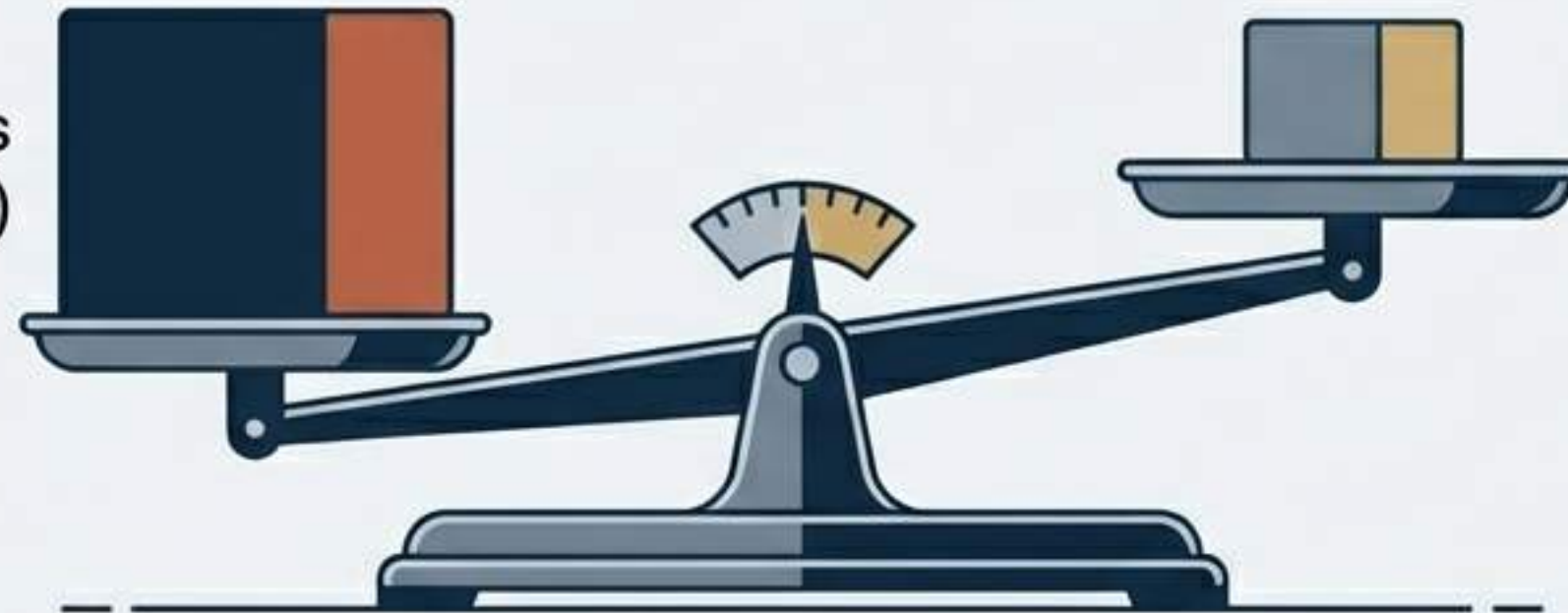
Se calcula mediante regresión lineal múltiple con datos zonales, sumando todos los viajes de las encuestas O-D cuyo destino final cayó en esta zona.

El gran desajuste estructural

Una vez estimadas las generaciones y atracciones, aparece un problema matemático inevitable en el modelo clásico.

$$\sum O_i \neq \sum D_j$$

Total Viajes Generados
(Confiante - Datos de Hogar)



Total Viajes Atraídos
(Estimación Zonal)

Traducción práctica: El total de viajes que salen no coincide exactamente con el total de viajes que llegan. Un sistema de transporte cerrado no puede existir con este desajuste.

El balanceo del sistema

Dado que los modelos de generación basados en hogares son mucho más precisos y confiables, se aplica un factor de ajuste a las atracciones para obligar al sistema a cuadrar.

$$D_j(\text{ajustado}) = D_j \cdot \left(\frac{\sum O_i}{\sum D_j} \right)$$

Atracción original de la zona.

El Factor de Balanceo (Generación Total dividida por Atracción Total).

El modelo clásico exige estrictamente que $\sum O_i = \sum D_j$. Este cálculo **fuerza el equilibrio matemático**.

La masa total del sistema

Hemos definido con éxito la masa total de viajes del sistema antes de decidir cómo se distribuyen en el espacio. Ese orden lógico es vital: primero cuánto se produce y atrae, luego cómo se conecta.

- ☒ Estimación de Generación (O_i)
- ☒ Estimación de Atracción (D_j)
- ☒ Balanceo Global ($\sum O_i = \sum D_j$)



→ **Siguiente Fase:** Distribución de Viajes (Matriz Origen-Destino)

La primera etapa del modelo clásico de transporte está oficialmente **cerrada**.
El motor está ensamblado y listo para funcionar.