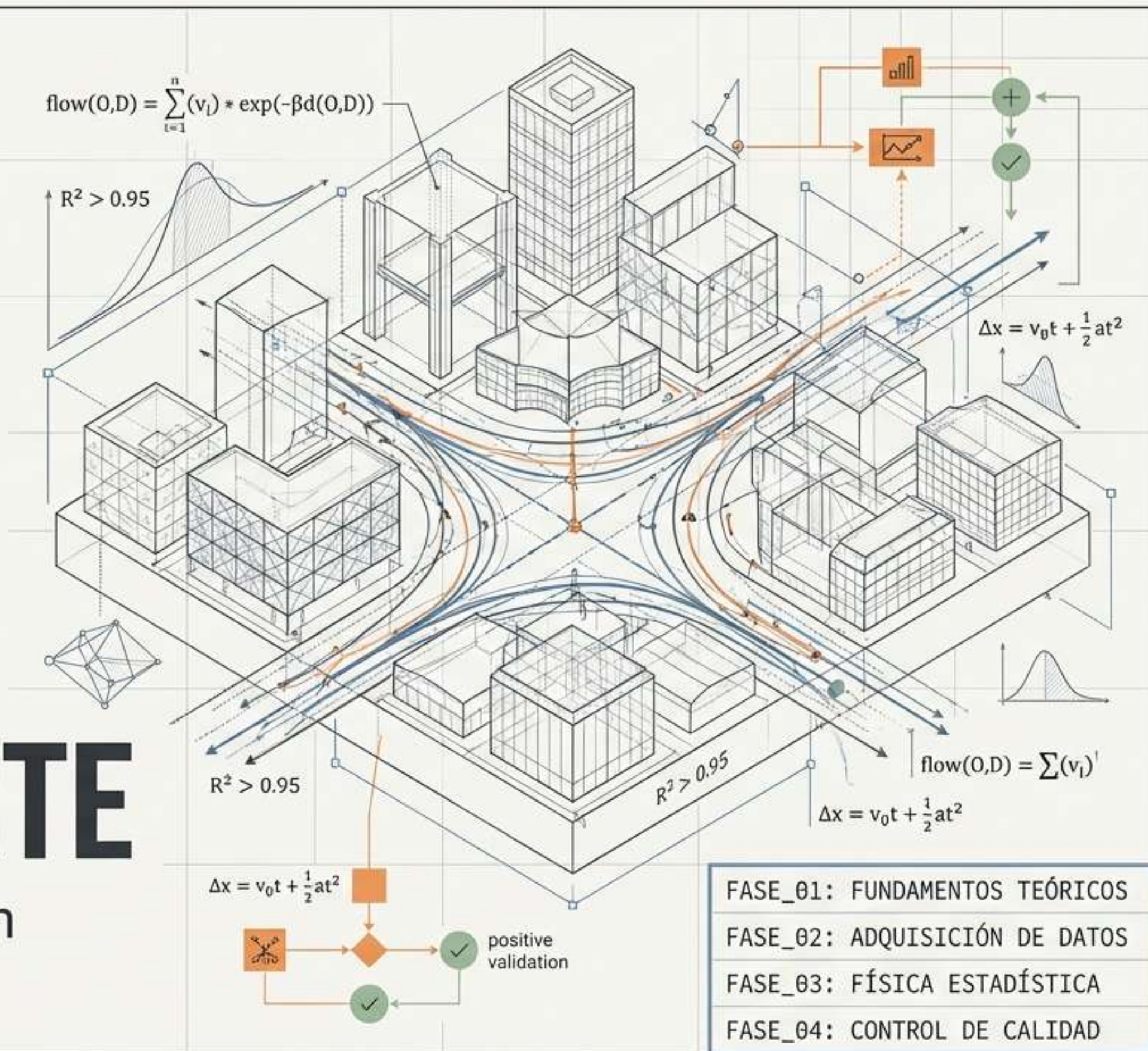


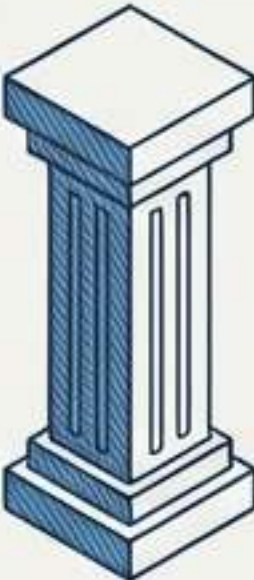
MODELACIÓN DE SISTEMAS DE TRANSPORTE

Análisis Estadístico, Adquisición Empírica y Control de Errores

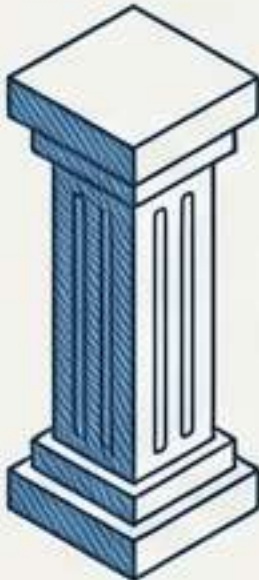


La Anatomía del Problema de Transporte

PERSPECTIVAS DEL SISTEMA



Inversión en
Infraestructura

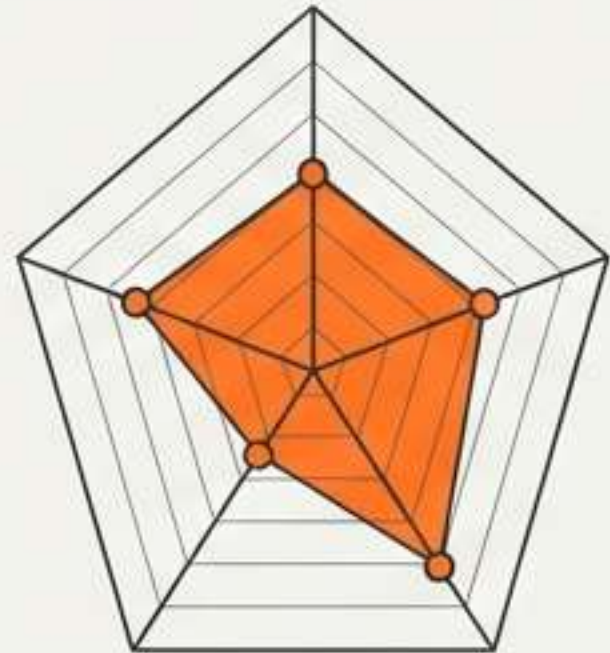


Gestión de
Recursos

LEY DE OFERTA

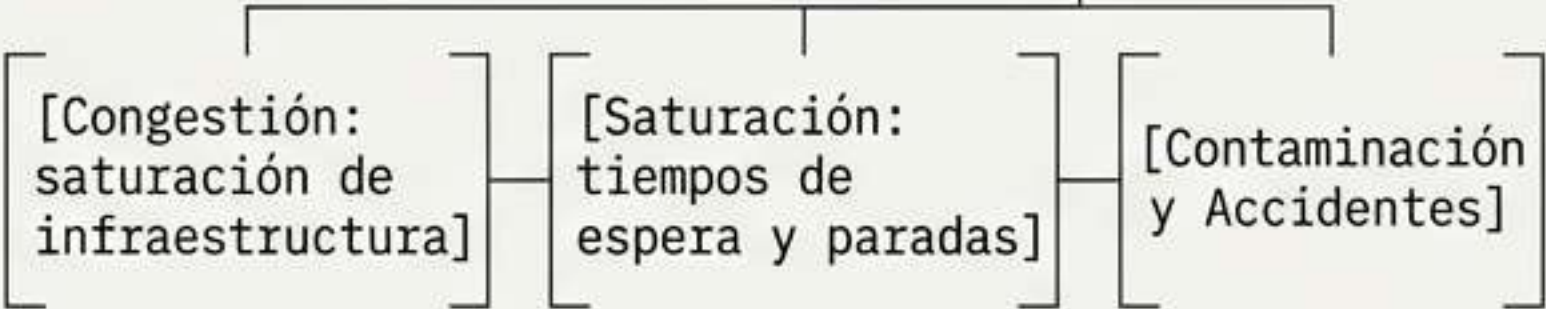
La oferta de transporte no es acumulable. Capacidad no utilizada es capacidad perdida (Ej. un asiento de autobús vacío no se puede guardar para mañana).

MATRIZ DE EXTERNALIDADES: Las decisiones de un viajero afectan al sistema

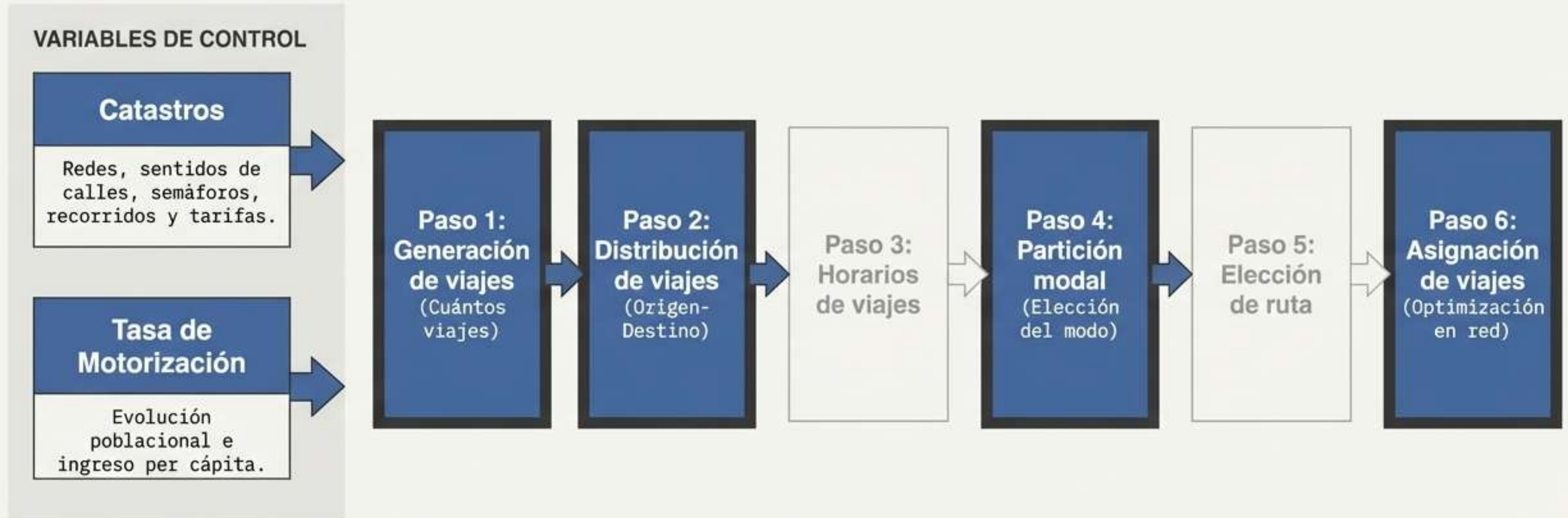


1	Costos Internos	Percibidos por el usuario (tiempo, tarifa).
---	-----------------	---

2	Costos Externos	Impactos sistémicos negativos. Incluyen:
---	-----------------	--



El Algoritmo de 6 Pasos (Modelo Clásico)



Nota del Modelador: El Modelo Clásico de 4 Etapas prioriza los pasos 1, 2, 4 y 6 para simplificar el análisis urbano.

PUNTOS CLAVE - Fase 1: Marco Teórico

Naturaleza de la Oferta



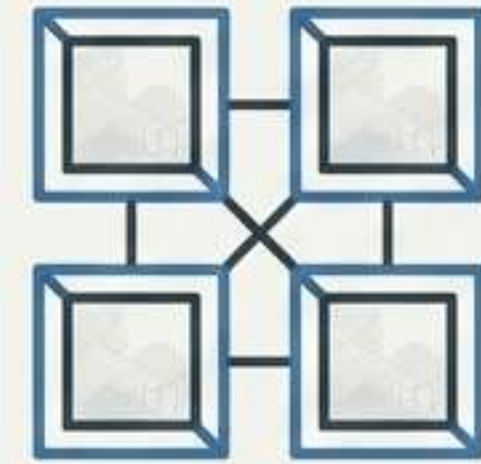
La infraestructura es perecedera; no se acumula. Exige precisión absoluta entre la gestión actual y la inversión futura.

Fricción del Sistema



El modelo debe cuantificar el impacto cruzado: la decisión de viaje individual genera costos externos inevitables (congestión y contaminación) al sistema.

Estructura del Algoritmo



Se requiere un control estricto de los inputs de catastros y motorización para alimentar el núcleo predictivo: Generación, Distribución, Partición y Asignación.

Parámetros del Entorno: Diseño y Zonificación



Restricciones del Sistema

Parámetros críticos:

Duración del estudio, Límites reales de interés, y Recursos tecnológicos o humanos.

MATRIZ DE ZONIFICACIÓN: Fracciones físicas homogéneas



Modelo Estratégico

Mayor horizonte de predicción (20+ años).

Menos zonas, polígonos más grandes.

Requiere alta adaptabilidad.



Modelo Detallado

Predicción a corto plazo.

Gran cantidad de zonas pequeñas.

Mayor exactitud espacial, pero con costos exponenciales.

Inventario Base: Todo modelo requiere aforos de tráfico, codificación espacial de la red vial y mapeo de locomoción colectiva.

Instrumentos de Medición: Espectro de Encuestas

Preferencias Reveladas

Comportamiento Observado



Encuestas en Hogares:
Alta riqueza de datos.
Cubre todos los viajes,
modelos de generación,
partición y longitud.
Costo muy elevado.



Encuestas de Intercepción:
Detención en ruta. **Menor**
riqueza demográfica, pero
genera matrices Origen-
Destino precisas con
puntos de control.

Preferencias Declaradas

Escenarios Hipotéticos

Permite aislar variables (ej. comodidad),
analizar opciones inexistentes y reducir
errores físicos de aforo.

Elección:
Selección
directa de
la mejor
alternativa.



Ranking:
Ordenamiento
jerárquico
de opciones.

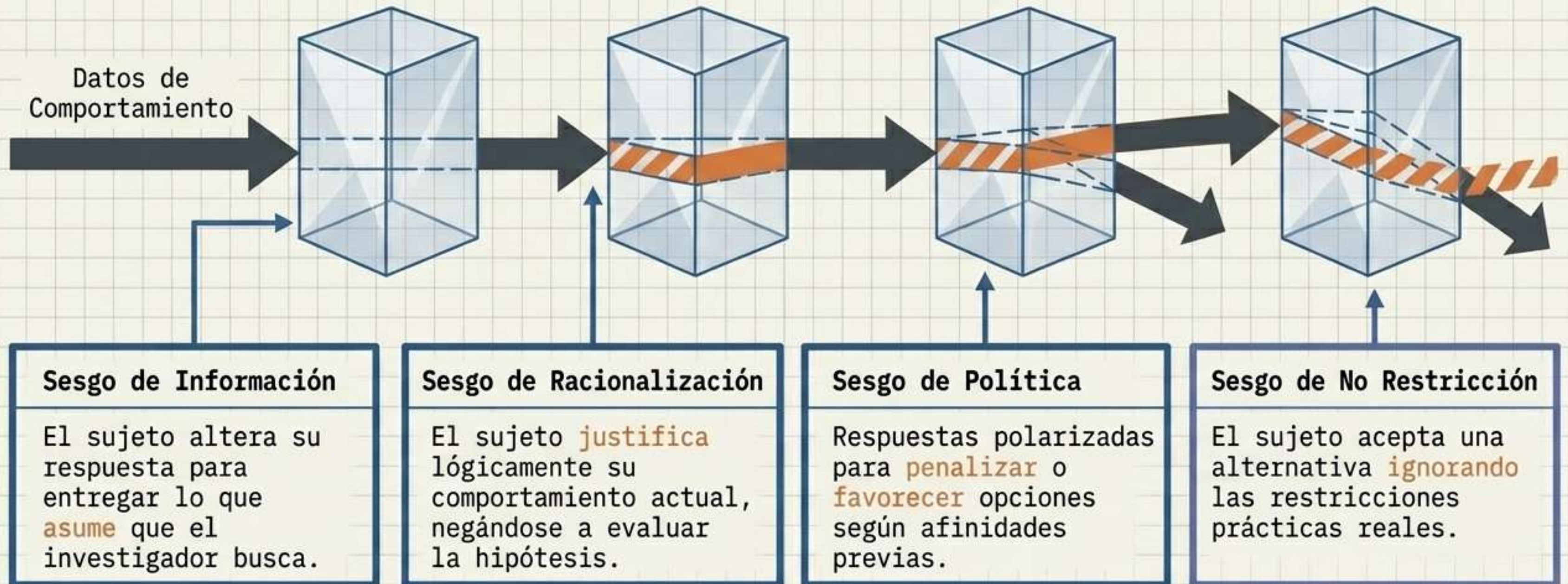


Escalamiento:
Asignación de
puntajes por
probabilida-
des.



Anomalías de Medición: Sesgos en Preferencias Declaradas

Taxonomía de la contaminación de datos por comportamiento humano.

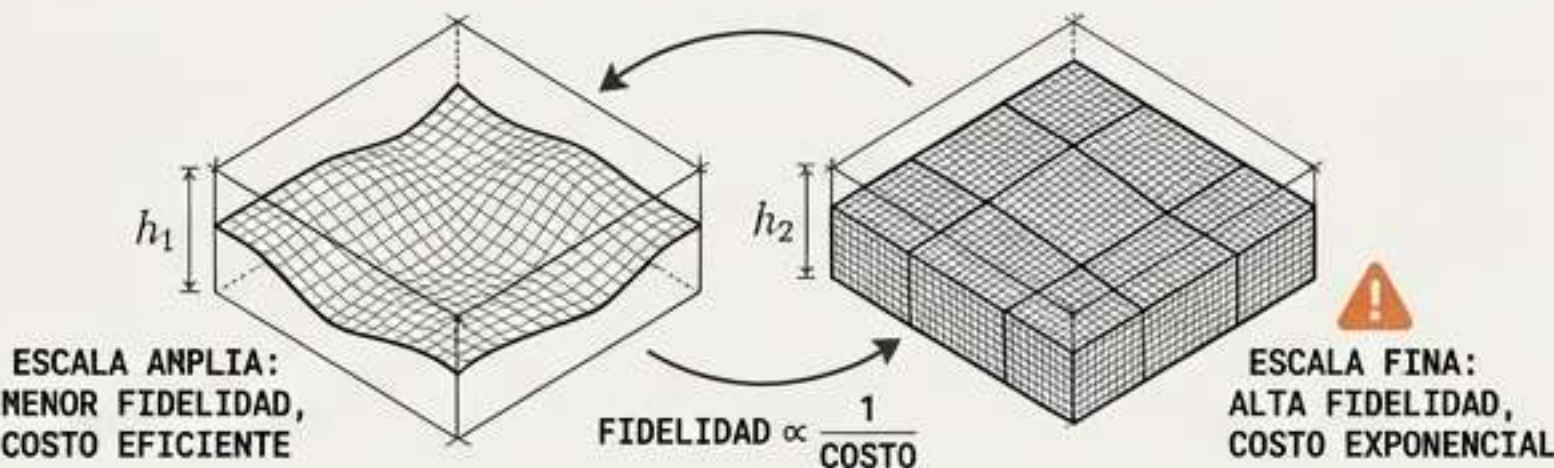


PUNTOS CLAVE - Fase 2: Laboratorio de Campo



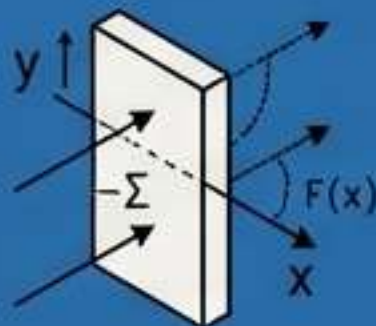
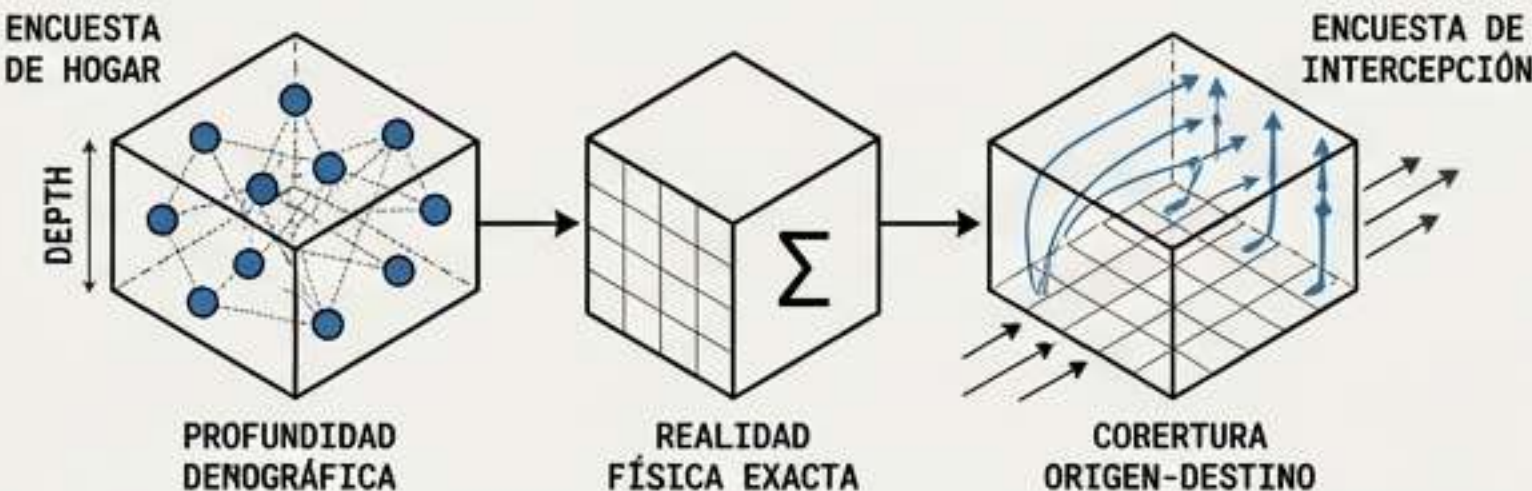
Geometría del Estudio

La exactitud estadística depende críticamente de la ubicación del **Cordón Externo** y la **escala de zonificación**. A menor tamaño de zona se obtiene mayor fidelidad, pero con un incremento exponencial en los costos de campo.



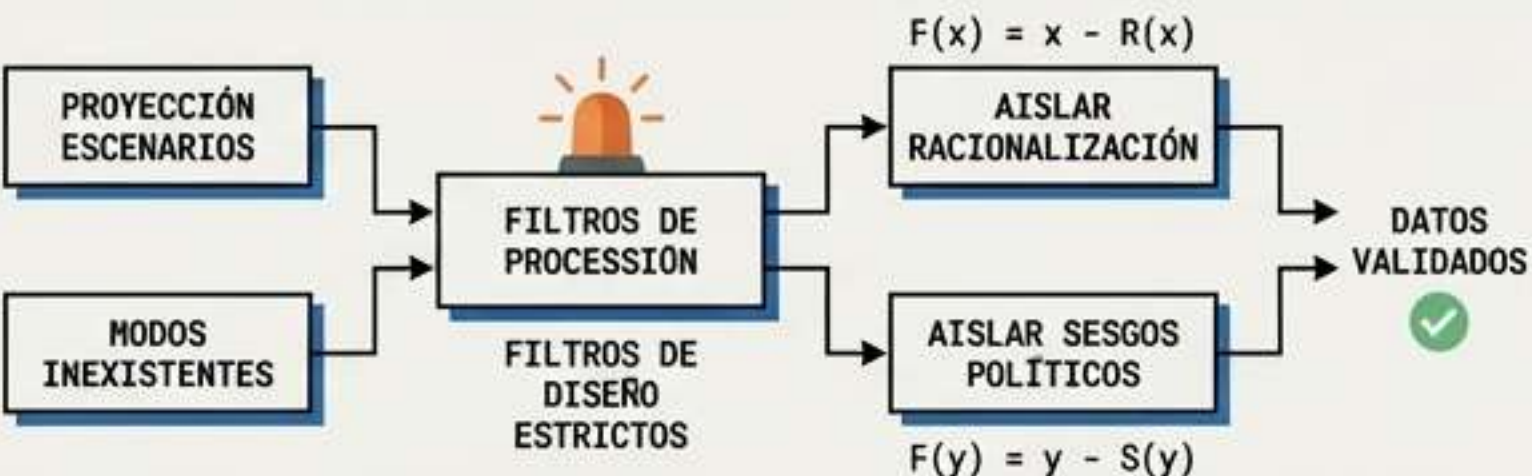
Dualidad de la Observación

Las **Preferencias Reveladas** mapean la realidad física de manera exacta, operando bajo un principio de **complementariedad**: la encuesta de hogar aporta profundidad demográfica, mientras la intercepción asegura cobertura de matrices Origen-Destino.



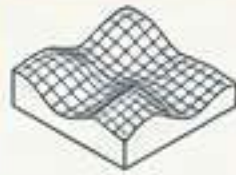
Gestión de Ruido Estructural

Las encuestas de **Preferencias Declaradas** son herramientas potentes para proyectar escenarios futuros y modos inexistentes, pero requieren filtros de diseño estrictos para aislar la racionalización del usuario y los sesgos políticos.



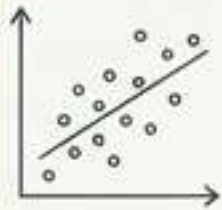
Física Estadística: El Teorema del Muestreo

Ley de los Grandes Números y Teorema Central del Límite.



Tamaño Muestral:

Invariable frente al tamaño total de la población de la ciudad.



Coeficiente de Variación:

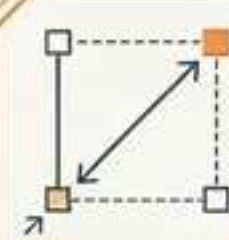
Dispersión de datos (σ / μ).
Sin datos previos se
asume $\neq 1$.

$$N = \frac{CV^2 \cdot Z_{\alpha}^2}{E^2}$$



Nivel de Confianza:

Distribución acumulada
para un test de dos colas.



Grado de Exactitud:

El margen de error máximo
tolerado.

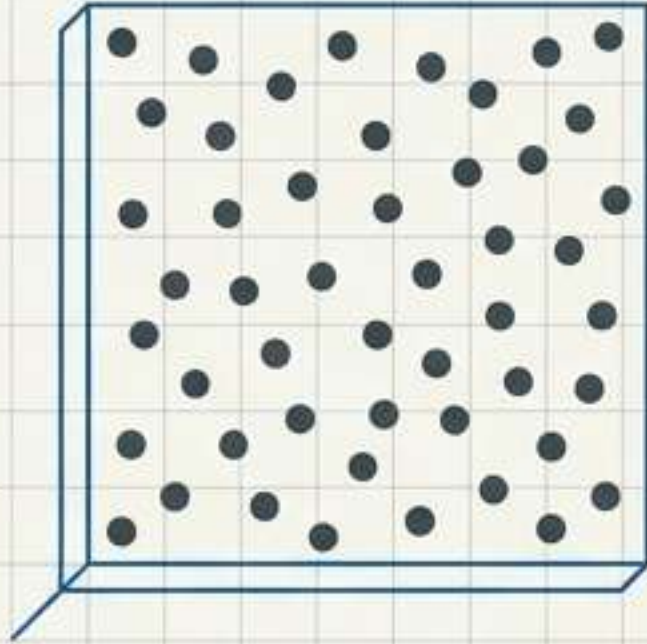
Demostración de Laboratorio

Con un 5% de error ($E=0.05$), 90% de confianza ($Z=1.645$) y $CV=1$.

Cálculo: $\frac{1^2 \cdot 1.645^2}{0.05^2} = 1082.4$ encuestas requeridas.

⚠ Para reducir la muestra empírica obligatoriamente se debe **sacrificar la confianza** o tolerar un mayor error.

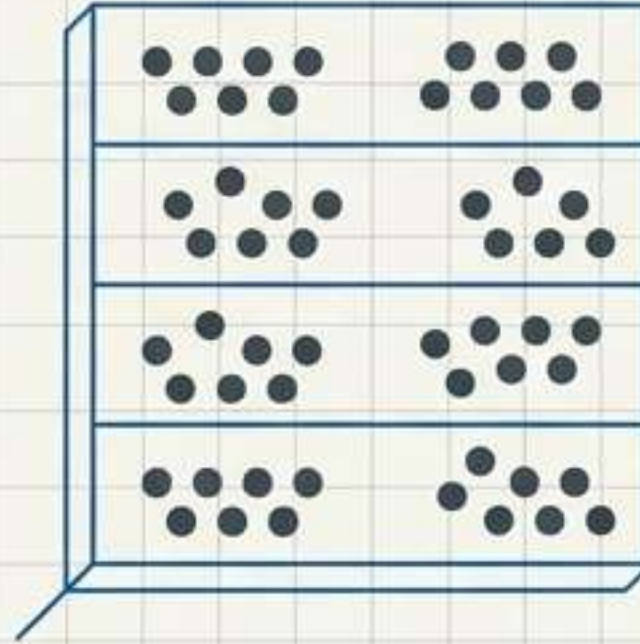
Topología de las Muestras



Muestreo Aleatorio

Cada unidad tiene idéntica probabilidad de selección.

Excelente para reproducir parámetros macro si el tamaño N de la muestra es suficientemente grande.



Muestreo Estratificado

Reduce drásticamente varianza y costos al aislar grupos homogéneos.



El Problema del Costo:

Hallar un estrato raro (ej. hogares pequeños con auto = 9%) sin datos previos exige visitar $11.1 \times n$ hogares. Con caracterización previa, solo $4 \times n$.



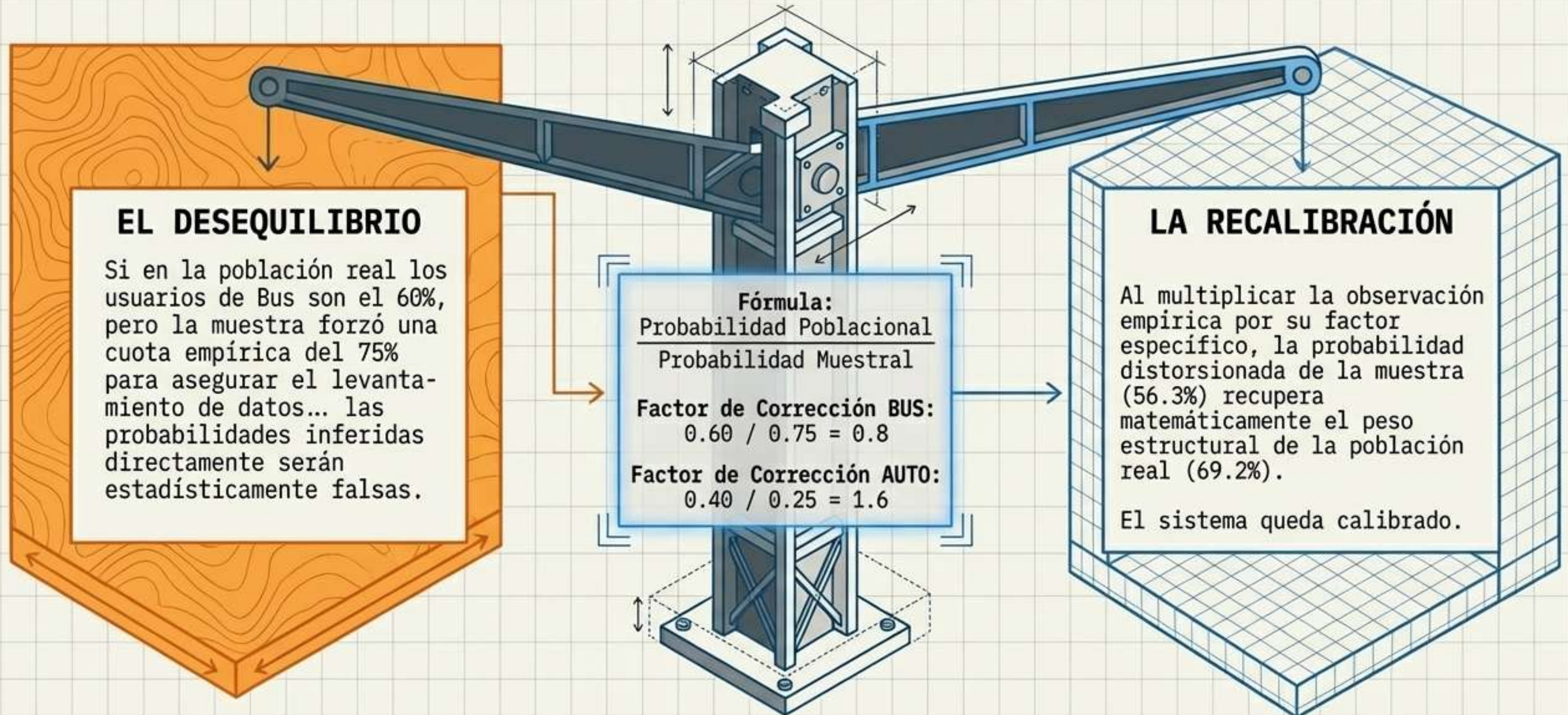
Muestreo Basado en Elección

El estándar metodológico en transporte urbano.

Se imponen cuotas rígidas de selección según el modo de viaje (ej. asegurar 33% Bus, 33% Auto) sin importar su peso estadístico real en la población.

Calibración y Corrección de Inferencias

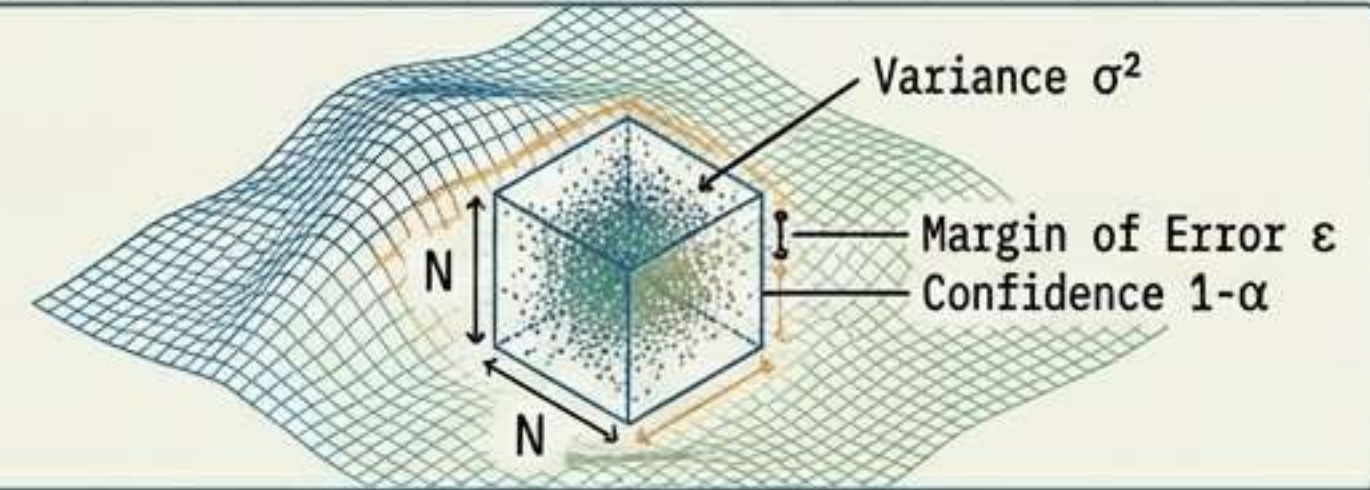
La resolución matemática al Muestreo Basado en Elección.



PUNTOS CLAVE - Fase 3: Análisis Estadístico

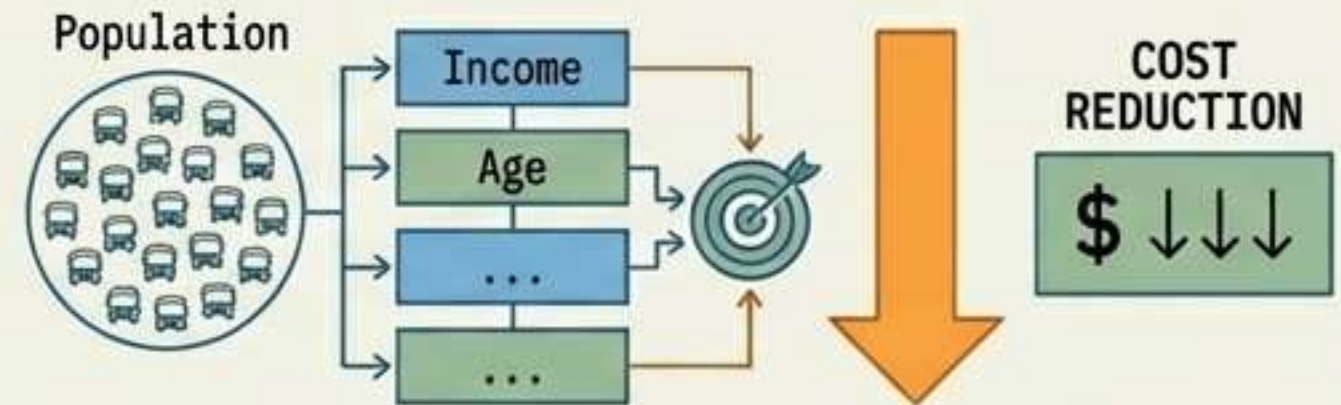
Leyes de Convergencia

Contrario a la intuición espacial, el tamaño muestral N requerido no depende de la magnitud de la ciudad. Depende exclusivamente de la varianza interna de los datos, el margen de error tolerado y el umbral de confianza matemática exigido.



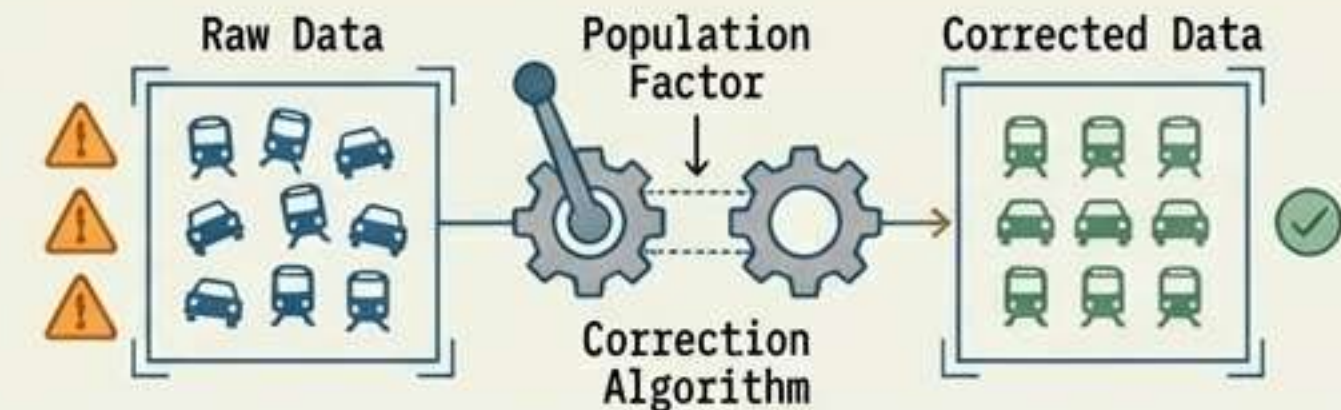
Eficiencia Estratificada

La segmentación demográfica a priori es un escudo financiero. Reduce drásticamente los costos de trabajo de campo al evitar muestrear a ciegas buscando agujas estadísticas en un pajar poblacional.



El Mandato de la Corrección

El muestreo basado en elección es la única forma viable de estudiar modos de transporte minoritarios, pero exige obligatoriamente la aplicación de factores de corrección para evitar inferencias destructivas en el modelo final.

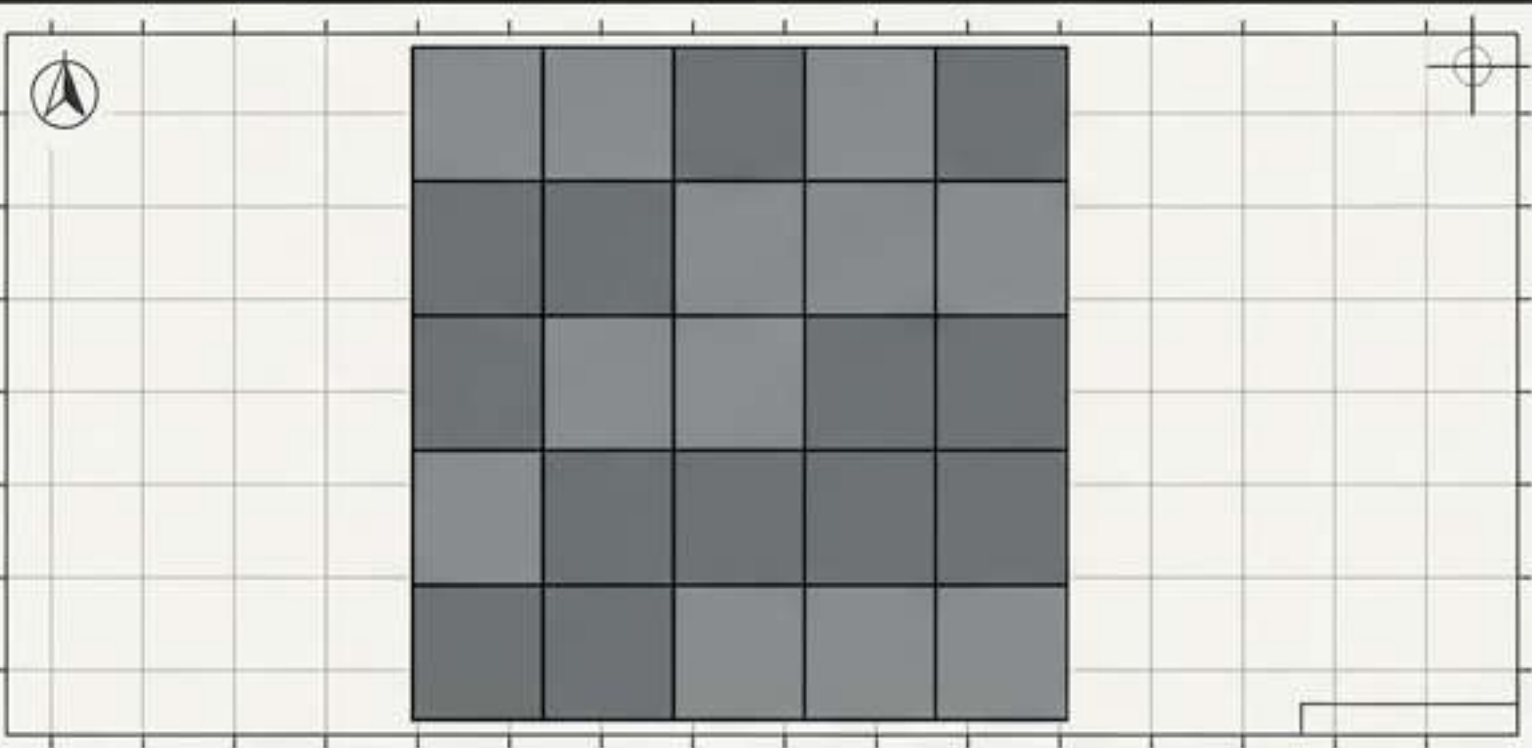


La Paradoja de la Agregación (Niveles de Modelación)

Zonal vs. Hogar. Demostración de varianza explicable.

Modelar a nivel Zonal agrupa datos promedio, diluyendo el comportamiento humano real. La unidad de modelación óptima es el Hogar.

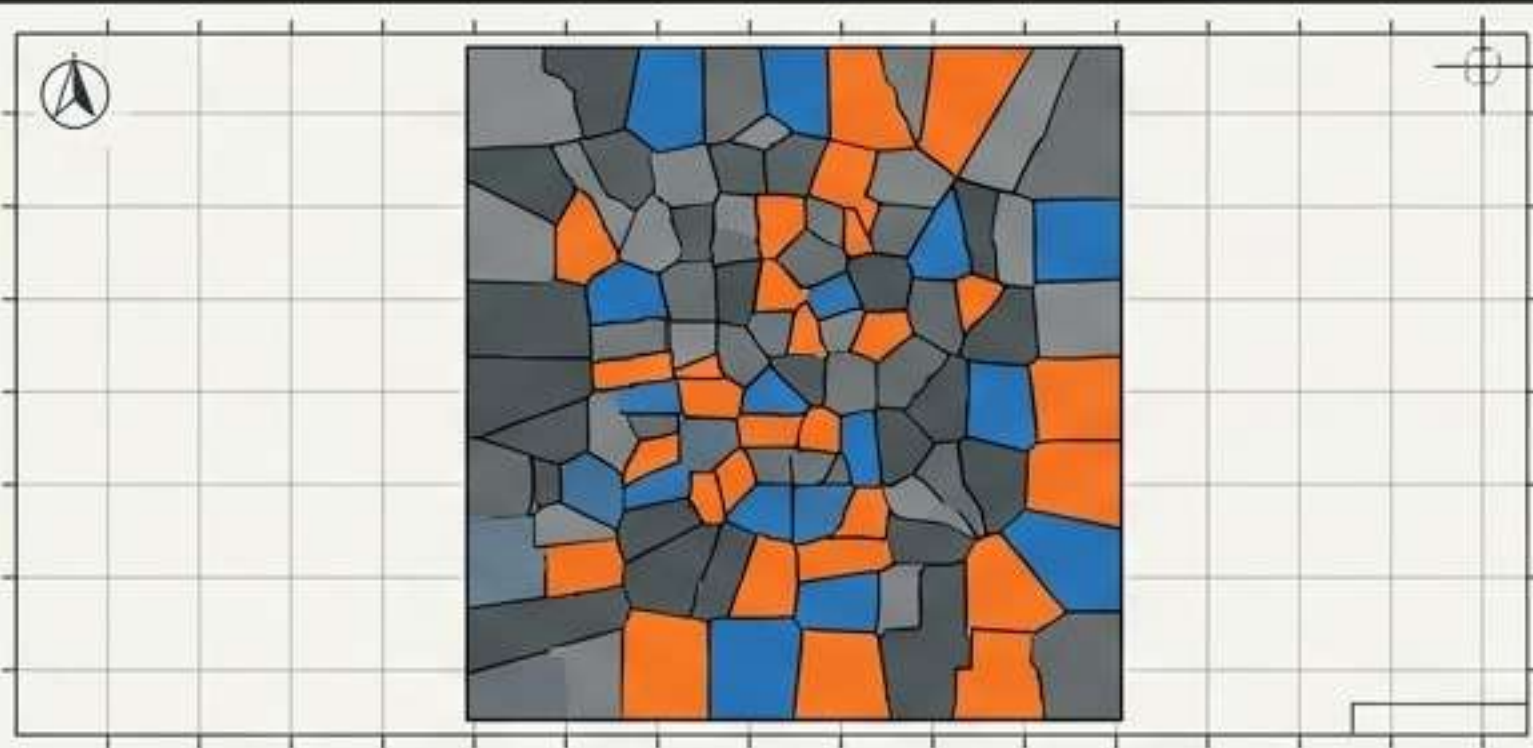
Escenario A: 25 Zonas Grandes



Valor medio: 7.96 viajes.

Varianza interzonal: 1.11

Escenario B: 75 Zonas Chicas



Valor medio: 8.13 viajes.

Varianza interzonal: 5.85

Conclusión del Experimento: Reducir drásticamente el tamaño físico de las zonas aumenta exponencialmente la variación explicable entre ellas. Las zonas grandes ciegan el modelo matemático ocultando la realidad bajo promedios planos.

Taxonomía y Propagación de Errores

El efecto cascada en sistemas secuenciales. Los errores no aislados se potencian estructuralmente.

Errores Base

Problemas de origen: medición defectuosa en los aforos de calle, mala codificación espacial y fallos en la digitación humana.

Errores de Especificación

Fallo arquitectónico del modelo: omisión de variables causales críticas en las ecuaciones matemáticas rectoras.

Errores de Modelo

Falsa arquitectónica: fallos de matrices caducas o importar algoritmos que utiliza o temporal futura.

Errores de Muestreo

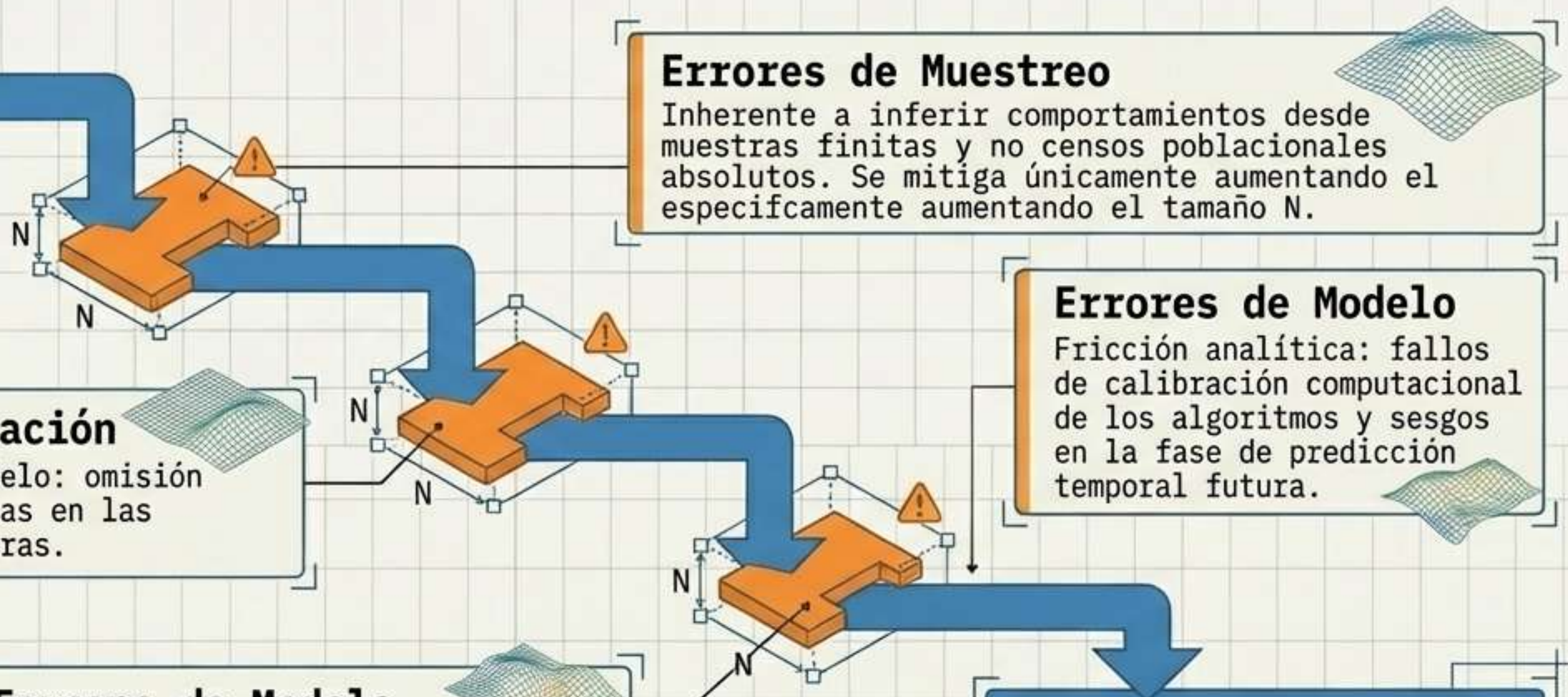
Inherente a inferir comportamientos desde muestras finitas y no censos poblacionales absolutos. Se mitiga únicamente aumentando el específicamente aumentando el tamaño N .

Errores de Modelo

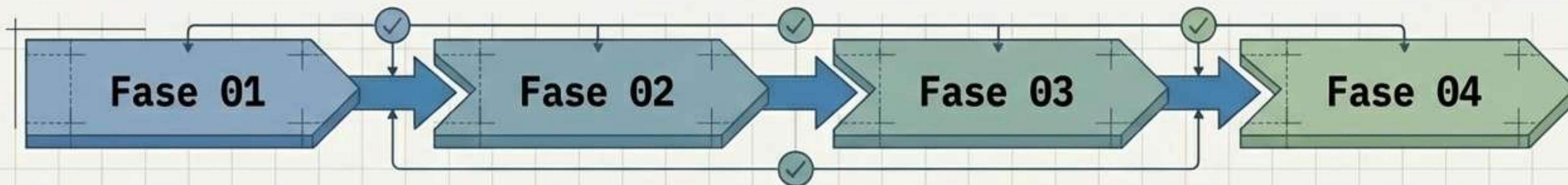
Fricción analítica: fallos de calibración computacional de los algoritmos y sesgos en la fase de predicción temporal futura.

Errores de Transferencia

Falsa equivalencia: utilizar matrices caducas o importar dogmáticamente parámetros estadísticos de ciudades ajenas.

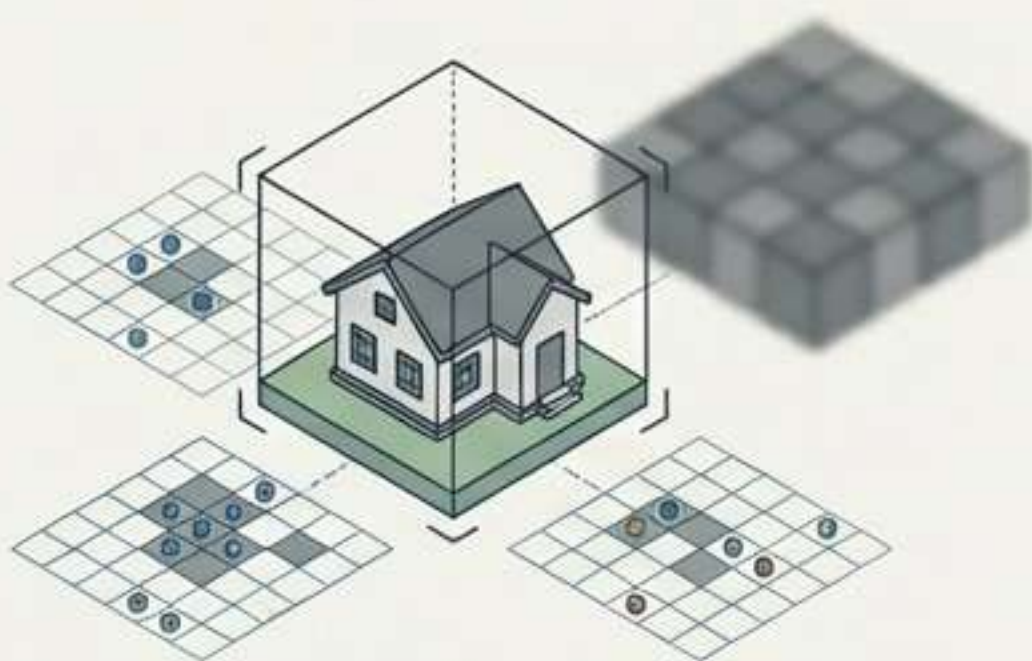


PUNTOS CLAVE FINALES - Integración y Cierre



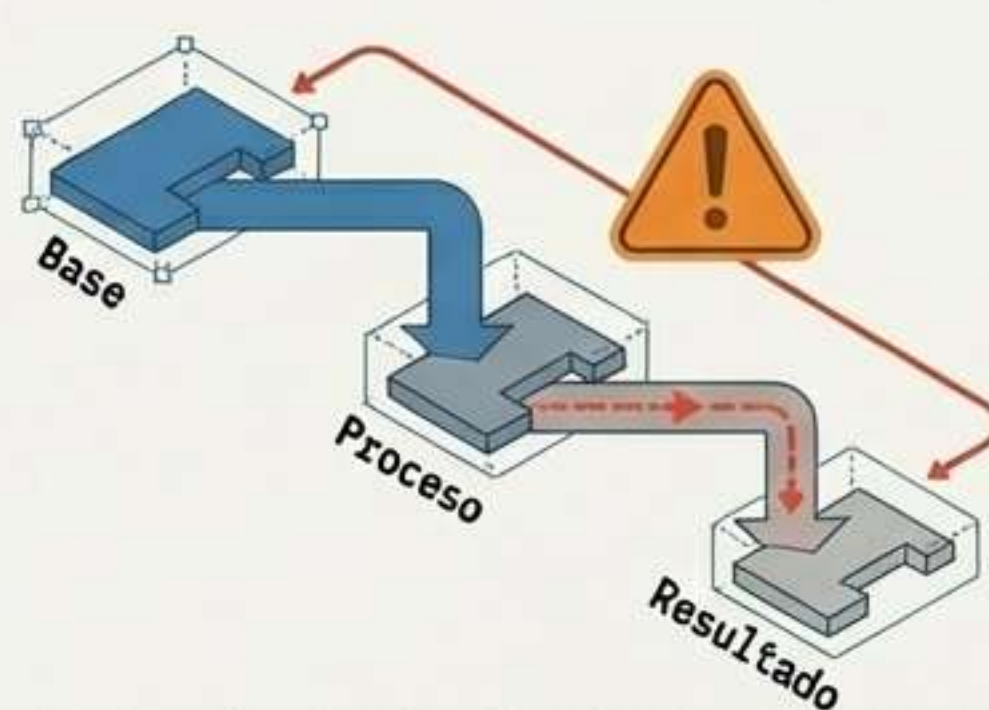
La Escala Define el Éxito

La agregación espacial excesiva destruye la varianza útil. Para una predicción con rigor científico, los modelos más eficientes deben operar estadísticamente a nivel de hogar individual, agrupados en micro-zonas.



Vigilancia Secuencial

El análisis sufre un efecto cascada. Debido a la propagación ineludible de errores en cadena, tolerar un nivel alto de error de medición en la base obliga matemáticamente a simplificar los niveles de complejidad analítica posteriores.



El Ecosistema Validado

La modelación urbana no es una estimación pasiva; es física empírica aplicada. Exige la calibración absoluta entre la rigidez de la infraestructura, la estocástica del comportamiento humano, y la severidad estadística del muestreo.

