

EL ANÁLISIS DE DEMANDA EN LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS DE TRANSPORTE

La Justificación Comercial o Estudio de Mercado es un componente básico en la formulación de proyectos y mantiene su presencia en cada una de las etapas básicas del proceso de análisis: **Identificación de Ideas, Prefactibilidad y Factibilidad**.

El Estudio de Mercado procura conocer el mercado de un servicio o producto.

El Estudio de la demanda dentro de la Justificación Comercial

El objetivo central de la Justificación Comercial se centra en el consumidor y la satisfacción de sus necesidades.

El estudio de la demanda cubrirá dos aspectos básicos:

- 1. El pronóstico de la demanda efectiva total.**
- 2. El pronóstico de la demanda específica del proyecto.**

Características básicas del estudio de la demanda

- 1. Necesidad de series históricas:** la previsión consiste en extrapolar hacia el futuro o identificar las variables explicativas y pronosticar el desarrollo futuro de la variable explicada.
- 2. Horizonte temporal de proyección de largo plazo:** la previsión debe cubrir toda la vida útil del proyecto. La subdivisión se realiza en períodos menores, convirtiendo el año en la unidad de medida del tiempo; financieramente, se adopta la convención que los flujos correspondientes a un año determinado se originan en el último día de dicho período (se trabaja con rentas vencidas).
- 3. Análisis de tendencia.** Existen fluctuaciones: evolución de la tendencia a largo plazo, oscilaciones coyunturales, estacionalidad y alteraciones de naturaleza aleatoria. El estudio estadístico permite descomponer la serie de los valores del consumo en una suma o producto de términos que explican cada parte de la evolución del fenómeno observado.
 - Las tendencias, generalmente, muestran perfiles lineales o exponenciales y responden a factores estructurales como el aumento del nivel de ingreso o el crecimiento de la población.
 - Períodos más cortos (3 a 7 años) muestran variaciones sinusoidales (oscilaciones cíclicas).
 - La estacionalidad semanal, mensual o anual muestra perfiles casi iguales de año en año.
 - Las alteraciones de carácter errático traducen lo aleatorio de ciertas variaciones en la serie (causas casi imposibles de medir).

Cada uno de los valores observados de la demanda de un bien puede considerarse como la consecuencia de la superposición de diversas variaciones de naturaleza diferente. Cada punto de la serie puede descomponerse de alguna de las siguientes formas:

Modelo aditivo:

$$y_t = T_t + C_t + S_t + \mu_t$$

Modelo multiplicativo:

$$y_t = T_t \times C_t \times S_t \times \mu_t$$

donde:

y_t = demanda en el período t

T_t = tendencia

C_t = componente cíclico

S_t = componente estacional

μ_t = componente aleatorio

Modelo aditivo

La acción de c/u de los componentes sobre el valor total observado es independiente de los valores adoptados por los demás componentes.

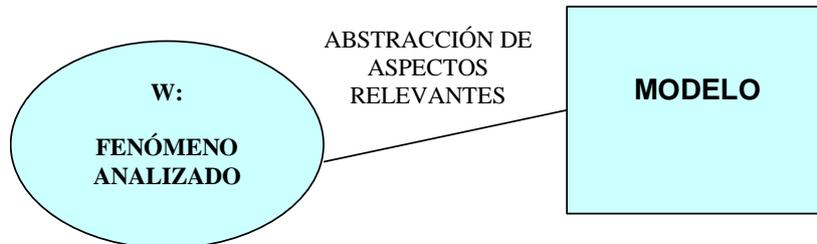
Modelo multiplicativo

El efecto de la sazonalidad se expresa con una amplitud tanto más grande cuanto la tendencia es más elevada.

4. **Incertidumbre en las proyecciones.** El futuro es incierto; todas las estimaciones se efectúan en un marco de incertidumbre. Por ello se formulan escenarios de proyección (p. ej. optimista, pesimista y normal). Otra forma es introducir el análisis de riesgo en las predicciones, abandonando el determinismo e introduciendo la probabilidad. Así, los factores relevantes son considerados bajo la forma de variables aleatorias a las que es posible asignar, por lo menos, una distribución subjetiva de probabilidades, computándose todos los valores que puede registrar una variable acompañados por la probabilidad de ocurrencia asociada a c/u.

GENERALIDADES DE MODELACIÓN

Un modelo es, esencialmente, una representación de la realidad, una abstracción que se utiliza para lograr mayor claridad conceptual acerca de la misma, reduciendo su variedad y complejidad a niveles que permitan comprenderla y especificarla en forma adecuada para el análisis.



Relación modelo-realidad

Normalmente, en un modelo se expresan en formas simplificadas las características más relevantes (para el caso estudiado) de un cierto fenómeno o situación real.

Tipos de modelos

- a) **Modelos físicos:** maquetas, túneles de viento, modelos de canales y represas. Son adecuados para tratar ciertos problemas físicos, pero están claramente limitados al aspecto de diseño.
- b) **Modelos abstractos.** En estos casos, la situación real se representa por símbolos y no por mecanismos físicos. De este modo son mucho más útiles para el planificador, ya que trasladan su atención desde los aspectos tridimensionales del diseño a la representación de relaciones funcionales y a los procesos básicos de cambio en los sistemas analizados. Permiten investigar el comportamiento del sistema y su reacciones frente a determinados estímulos; además, son mucho más comunes que los modelos físicos.

Dentro de los modelos abstractos se sitúan los llamados *modelos matemáticos*. En éstos, las relaciones postuladas se formalizan en series de ecuaciones algebraicas que contienen dos tipos de variables:

- **Variables exógenas**, independientes o explicativas, cuyos valores numéricos se determinan fuera del modelo.
- **Variables endógenas** o dependientes, cuyo valor resulta de la operación del modelo.

Dentro de los modelos matemáticos, a su vez, se pueden distinguir:

- [Modelos predictivos](#), que buscan determinar la causalidad entre las variables, a fin de plantear relaciones funcionales que tengan una cierta constancia en el tiempo.
- [Modelos normativos](#), que se construyen con el propósito de producir estimaciones acerca del comportamiento del sistema frente a objetivos definidos. Este tipo de modelos debe incorporar metas y restricciones (por ejemplo, un modelo para mejorar la accesibilidad de un área).

Además de complejos, los modelos normativos adolecen de un problema grave, que es que los resultados que entregan son, en gran medida, una proyección del pensamiento del creador del modelo. Atento a que el estado del arte no ha evolucionado mucho (se requieren técnicas matemáticas de gran complejidad), el uso de los modelos normativos está limitado a ejemplos sencillos.

Los modelos más útiles en la actualidad son los predictivos. Son utilizados en planificación de transporte desde principios de la década de los 50. A pesar de su gran popularidad, tienen limitaciones: éstas se ven acentuadas al ser utilizados en ingeniería de transporte, ya que los problemas analizados se caracterizan por:

- Considerar la interrelación entre un gran número de variables.
- Estar asociados a una amplia gama de objetivos que operan simultáneamente y que, en algunos casos, desafían incluso una definición clara, pues muchas variables son intangibles o incuantificables.
- Corresponder a fenómenos sobre los cuales no hay teorías buenas o bien definidas, ya que los sistemas y sus procesos de cambio no han sido aún bien entendidos.

Como contrapartida, se reconoce que el uso de modelos es de gran ayuda para el desarrollo y la experimentación de teorías. En la práctica, uno de los problemas más limitantes es el de la información, ya que aún los modelos más simples requieren gran cantidad de datos.

Problema básico de la modelación

Es la estimación de las variables endógenas.

Premisas teóricas del estudio de la demanda

Elementos básicos vinculados a:

Micro-economía: análisis de los principios básicos de la demanda de bienes.

Econometría: estudio de modelos lineales uniecuacionales, construidos en base al análisis de regresión simple o múltiple por el método de los mínimos cuadrados y modelos probabilísticos.

Teoría de la demanda

Deriva de la teoría de las preferencias del consumidor.

El consumidor individual toma sus decisiones tomando en cuenta que cada bien o servicio tiene un denominador común: su utilidad. El objetivo del consumidor es maximizar la satisfacción que puede obtener de un determinado nivel de ingreso monetario.

El proceso de maximizar la utilidad conduce a que el consumo total de un bien "X" o función-demanda del bien, en el período "t" dependa de:

$$Q_{X_t} = f (P_X, Y, P_R, U), \text{ con:}$$

P_X = precio del bien X

Y = Ingreso del consumidor

P_R = Precio de los bienes relacionados

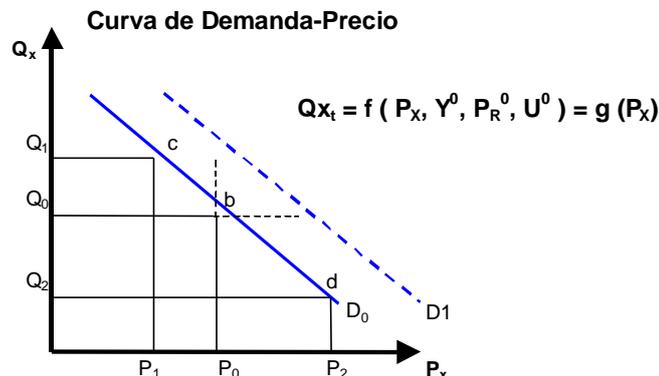
U = Gustos y preferencias del consumidor

La transición de la demanda individual a la de mercado implica la suma de las demandas individuales. En este caso, además de las variables vistas, intervienen la población y su distribución geográfica y por edades.

Curva demanda-precio

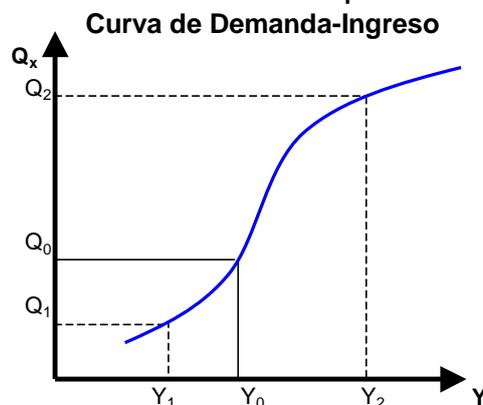
Lugar geométrico de los puntos que indican las cantidades máximas de un producto/servicio que serán compradas por el grupo de consumidores a diferentes precios, suponiendo las demás variables constantes. Alternativamente, precios máximos que pagaría el grupo pertinente por ciertas cantidades del producto, suponiendo que el nivel de ingreso del grupo, el precio de los productos relacionados y demás factores determinantes, permanecen constantes.

La curva de demanda muestra la relación entre precios y cantidades para un determinado nivel de las otras variables; una función de demanda es una relación entre las cantidades demandadas y todas las variables que afectan al consumo.



Puesto que en el caso del transporte por facilidades de libre circulación no existe un precio de mercado, se considera que el pago del servicio está representado por una relación directamente ligada al costo en que debe incurrir el usuario para disponer de una unidad de servicio.

Curva demanda-ingreso: Lugar geométrico de las combinaciones de equilibrio que se producen cuando varía el nivel de ingreso y los demás factores condicionantes permanecen constantes. Tiene pendiente positiva en toda su extensión cuando los bienes son superiores o normales.



Elasticidad-precio de la demanda: La elasticidad de cualquier función es un número que indica el cambio proporcional de la variable dependiente causado por un pequeño cambio en la variable independiente. La elasticidad-precio de la demanda mide el efecto sobre la cantidad demandada de una pequeña alteración del precio:

$$e_p = \frac{\text{cambio relativo en la cantidad demandada}}{\text{cambio relativo en el precio}} = \frac{\Delta Q/Q}{\Delta P/P} = \frac{\Delta Q}{\Delta P} \times \frac{P}{Q}$$

En rigor matemático, la definición de elasticidad es válida para cambios infinitesimales de P y de Q:

$$e = \frac{\partial Q}{\partial P} \times \frac{P}{Q}$$

Elasticidad-ingreso de la demanda

Variación porcentual que experimenta la cantidad demandada ante un cambio en el ingreso de los consumidores.

$$E_Y = \frac{\Delta Q/Q}{\Delta Y/Y} = \frac{\Delta Q}{\Delta Y} \times \frac{Y}{Q}$$

El cociente $\Delta Q/\Delta Y$ representa la propensión marginal a consumir y se la define como la proporción de los aumentos en el ingreso que se destina al consumo.

Para una función continua, la propensión para incrementos infinitesimales del ingreso y del consumo es la derivada de la función consumo respecto a su variable independiente, o sea, el ingreso y se expresa:

$$PMC = \frac{\partial Q}{\partial Y}$$

Métodos de proyección de la demanda

El pronóstico de la demanda consiste en estimar la cuantía de los bienes o servicios provenientes del proyecto que la comunidad estaría dispuesta a adquirir a ciertos precios, durante un determinado período de tiempo que coincide con la vida útil de la inversión.

Previsión sin datos estadísticos: ante ausencia de información cuantitativa seriada, el analista debe apoyarse en proyecciones del comportamiento de los consumidores.

Comparaciones internacionales: El perfil de la demanda de algunos bienes, en ocasiones resulta similar en diferentes países, con cierto desfase en cuanto a diferencias en el ingreso y otros factores.

Posibilidad de sustitución de importaciones.

Uso de coeficientes técnicos: se aplica para la proyección de la demanda de productos intermedios.

Extrapolación de la tendencia: Consiste en establecer una línea de ajuste a partir de series históricas y estimar la demanda futura a partir de tal línea. Supone que los acontecimientos determinantes de la tendencia se mantendrán en el futuro (hipótesis de los efectos compensados). Impone tres problemas sucesivos:

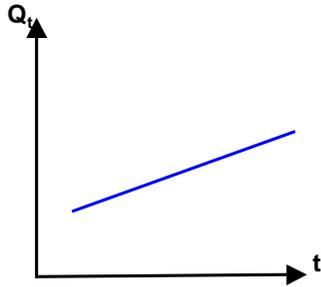
1. Elección de la línea de ajuste
2. Búsqueda de un método para ajustar la curva
3. Estimación de una previsión o de un intervalo de previsión para un tiempo futuro.

1. Elección de la línea de ajuste

No se trata sólo de buscar una curva que pase cerca de los puntos de la serie, sino que debe también reflejar un conocimiento cualitativo del mercado.

a) Crecimiento aritmético de cifra constante

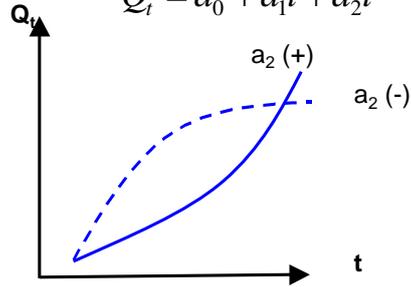
Recta del tipo: $Q_t = a \times t + b$



b) Tendencia polinomial

En general, polinomio de segundo grado (parábola), del tipo:

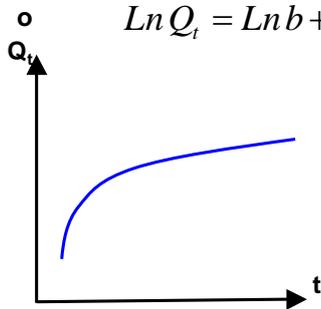
$$Q_t = a_0 + a_1t + a_2t^2$$



c) Función potencial

Curva del tipo: $Q_t = bt^a$

$$\ln Q_t = \ln b + a \ln t$$

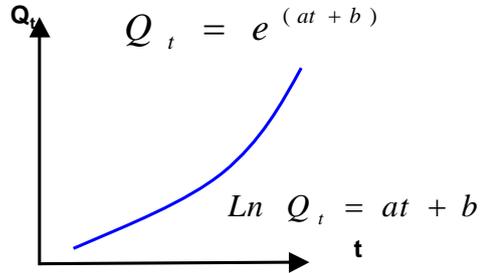


d) Crecimiento exponencial

En general, todos los fenómenos económicos cuya evolución está estrechamente ligada al crecimiento demográfico o al de la actividad económica, evolucionan según una función exponencial, del tipo:

$$Q_t = e^{(at + b)}$$

$$\ln Q_t = at + b$$

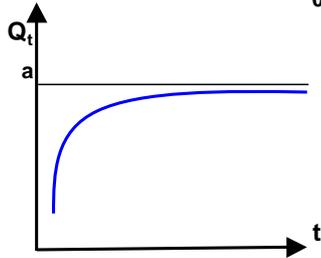


e) Crecimiento asintótico (o con saturación)

La demanda puede ofrecer una fase inicial de rápido crecimiento y posterior enlentecimiento hacia un comportamiento asintótico a un límite superior como consecuencia de la saturación del mercado. Son curvas de los tipos siguientes:

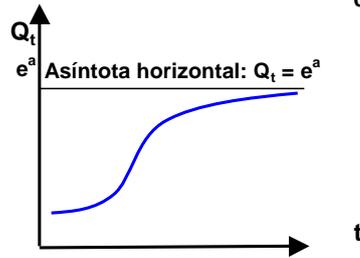
i) Exponencial modificada

$$Q_t = a - br^t \quad \text{con: } a, b \geq 0 \quad 0 < r < 1$$



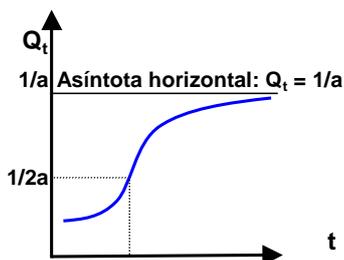
ii) Curva Gompertz

$$\ln Q_t = a - br^t \quad \text{con: } a, b \geq 0 \quad 0 < r < 1$$



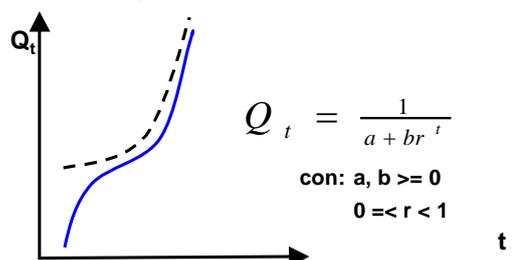
iii) Curva Logística

$$Q_t = \frac{1}{a + br^t} \quad \text{con: } a, b \geq 0 \quad 0 < r < 1$$



iv) Curva Logística modificada

Puede haber una fase inicial de despegue muy rápido y luego una saturación conduzca a la serie a acompañar el crecimiento del mercado potencial. Se elige así como asíntota la curva que representa el crecimiento de ese mercado potencial.



2. Ajuste de la curva

Es el procedimiento de calcular los valores de los coeficientes de las ecuaciones (calibración).

Para formas lineales de las ecuaciones: se puede obtener mediante la aplicación del método de los mínimos cuadrados - ecuaciones a) a d) -. Para el caso de una curva como la “logística modificada”, la función $G(t)$ de crecimiento del mercado potencial se suele estimar por separado. A continuación se calculan los coeficientes b y r por el método de los mínimos cuadrados en la ecuación lineal transformada:

$$\text{Ln} \left(\frac{G(t)}{Q_t} - 1 \right) = \text{Ln } b + t \text{ Ln } r$$

Para formas no lineales de las ecuaciones, “exponencial modificada”, Gompertz y logística, los parámetros a estimar “a”, “b” y “r”, no figuran bajo forma lineal. La logística puede transformarse en una curva del tipo “exponencial modificada” considerando la serie de valores $1/Q_t$ que conduce a una tendencia de la forma $a + br^t$.

3. Previsión para períodos futuros

Una vez seleccionada y ajustada la curva de la tendencia de la demanda $f(t)$ la serie cronológica se presenta como:

$$Y_t = f(t) + \varepsilon_t$$

El último término es un término aleatorio que pone de manifiesto el residuo no explicado por la variable independiente (media cero, varianza constante e independiente de t lo que implica que la varianza es cte. en todas las observaciones – homocedasticidad -, valores del término aleatorio que se obtienen en forma independiente unos de otros).

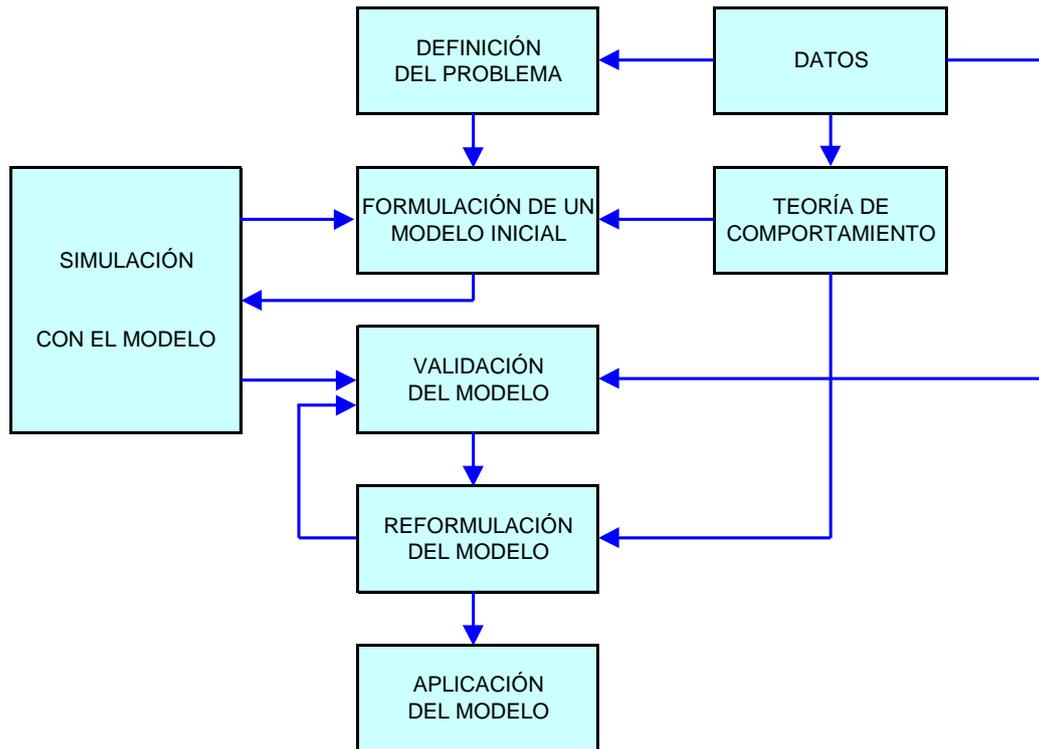
Métodos econométricos: la técnica anterior sólo contempla los valores históricos de la variable a proyectar y sólo toma en cuenta una variable exógena (t) que no es explicativa de la demanda estimada. Un modelo que explicita las relaciones entre las variables explicativas y la demanda supone siempre la estabilidad en el futuro de dichas relaciones, pero no implica para las variables exógenas la continuación estabilizada de su evolución pasada. De hecho, el método toma especialmente en cuenta toda modificación en dicho comportamiento que pueda ser anticipada.

El objetivo de los métodos econométricos consiste simultáneamente en expresar mediante una relación precisa y formal las vinculaciones existentes entre la demanda y otros fenómenos económicos y en establecer el grado de confianza que se puede tener respecto a dichas relaciones.

Formulación de modelos

No existe total claridad acerca de cómo nace o se genera un modelo. Sin embargo, podemos ver un enfoque general que sirve de ayuda para entender este proceso. Cualquier enfoque realista debe ser iterativo, ya que cada etapa puede, en su desarrollo, sugerir nuevas ideas o mejorar las anteriores.

Estructura general del modelo de transporte



La siguiente lista de aspectos para ayudar a diseñar un modelo:

- Propósito con que se está construyendo el modelo.
- Variables que se debieran incluir especificando cuáles son controlables por el modelador.
- Nivel de agregación que se debiera utilizar.
- Tratamiento del tiempo.
- Teoría que se está representando con el modelo.
- Técnicas estadísticas y matemáticas disponibles para construir el modelo.
- Métodos para calibrar y probar (validar el modelo).

Especificación de modelos

Dentro de este tema debe considerarse:

- a) Estructura del modelo: ¿Es posible replicar el sistema que debe ser modelado con una estructura sencilla (p.ej. asumiendo que todas las opciones son independientes? ¿o es necesario construir modelos complejos que funcionen sobre la base del cálculo de probabilidades de elección condicionales en selecciones previas?
- b) Forma funcional: ¿Es posible utilizar funciones lineales o el problema requiere la especificación de funciones no lineales?
- c) Especificación de variables: Implica decidir qué variables usar y cómo (en qué forma) deben entrar al modelo.

Errores de Modelación y Predicción

La mayoría de los procedimientos estadísticos utilizados en la estimación de modelos asumen, implícita o explícitamente, que tanto los datos como la forma funcional del modelo se conocen en forma exacta. En la práctica, sin embargo, a menudo se violan estas condiciones.

- a) Errores de medición, codificación y digitación de los datos (típicamente mayores en países en desarrollo), que crecen con el refinamiento o sofisticación de las variables a medirse, pero que pueden reducirse invirtiendo más dinero en supervisión y entrenamiento, y en verificación de datos.
- b) Errores de muestreo, provenientes de la consideración de muestras finitas en lugar de la población completa. Son errores que tienden a ser proporcionales a la raíz cuadrada del número de observaciones, por lo que su reducción puede ser muy costosa.
- c) Errores de especificación (p.ej. omisión de una variable relevante, forma funcional errónea, presencia de hábito o inercia de comportamiento).
- d) Errores de calibración y predicción. Los primeros provienen de la utilización de técnicas de calibración parcialmente inexactas (la generalidad de los modelos se resuelve en forma iterativa y no tiene solución matemática exacta) y los segundos, de errores en la predicción a futuro de las variables independientes del modelo.
- e) Errores de transferencia, al usar un modelo desarrollado para A (cierta área o época) en B (otra área o época), aún con los ajustes necesarios.
- f) Errores de agregación. No es un problema sencillo; sin embargo, si se estima un modelo agregado, los errores pueden ser mayores.

Los errores de medición ocurren por la inexactitud con que se lleva a cabo la operación de medición. Por ejemplo, si se dice que la población de una ciudad es 180 mil habitantes, realmente se quiere decir 180 mil más/menos 5 mil personas. Por esto, en el ambiente científico se suele indicar que una medición M cualquiera tiene asociado un error e de forma:

$$M \pm e$$

Para e se suele usar la desviación estándar, o el “error probable”, definido como la distancia desde la media (μ), tal que 50% de la distribución de probabilidades se encuentre dentro del intervalo $\mu \pm e$.

Los errores de especificación ocurren por no entender bien el problema o por querer simplificar demasiado el fenómeno que se desea representar.

Se puede decir que –en el fondo- lo único que un modelo hace es combinar mediante operaciones algebraicas varios números obtenidos de mediciones en terreno. El problema es que tradicionalmente sólo se considera el número y no su error asociado, quizás con la esperanza de que éstos se cancelen en el modelo.

Propagación de errores

La fórmula siguiente estima el error de salida derivado de la propagación de los errores de entrada.

Si $Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, entonces

$$e_z^2 = \sum \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 e_{x_i}^2 + \sum \sum \frac{\partial f}{\partial X_i} \cdot \frac{\partial f}{\partial X_j} \cdot e_{x_i} \cdot e_{x_j} \cdot r_{ij}$$

en que e_z es el error de Z , e_{x_i} es el error de medición de la variable X_i , y r_{ij} es el coeficiente de correlación entre X_i y X_j .

Esta fórmula es exacta si la función f es lineal y constituye una buena aproximación en otros casos. A partir de ella, se han derivado una serie de reglas sencillas para construir modelos que debieran evitar grandes errores de salida.

Reglas de modelación

Regla 1: Evitar variables correlacionadas (si $r_{ij} = 0$, desaparece el segundo término de error en la ecuación). Para derivar el resto de las reglas, se considera un simple caso tridimensional:

Sea $Z = f(X,Y)$ y supongamos que $X = 10 \pm 1$; $Y = 6 \pm 1$ y que, además, X e Y son independientes.

i) Suma: $Z = X + Y = 10 + 6 = 16$, aplicando la fórmula:

$$e_z^2 = e_x^2 + e_y^2 = 2 \Rightarrow e_z = 1,4$$

En la suma, el error absoluto de la variable dependiente aumenta (es mayor que el de las variables independientes); sin embargo, el error porcentual relativo disminuye ya que:

$1,4/16 = 8,8\%$, que es menor que 10% y $16,7\%$, respectivamente; por lo tanto, la adición es relativamente benigna.

ii) Resta: $Z = X - Y = 4$

$$e_z^2 = 2 \Rightarrow e_z = 1,4 \text{ (igual que antes)}$$

Sin embargo, esta operación, aparentemente tan sencilla como la otra, es *explosiva* en términos de error porcentual (35%), especialmente cuando la diferencia es pequeña con relación a las variables independientes; por ejemplo, si

$$Y = 8 \pm 1 \Rightarrow Z = 2 \text{ y el error porcentual es } 1,4/2 = 70\%$$

iii) La multiplicación y la división, procediendo de igual forma, aumentan el error absoluto y el porcentual.

iv) La elevación a potencia es también, en general, explosiva; elevar a potencia puede considerarse como la multiplicación de dos variables perfectamente correlacionadas, esto es, con $r_{ij} = 1$.

Para resumir, entonces, las reglas de Alonso son:

- i) Evitar el uso de variables correlacionadas.
- ii) Sumar cuando sea posible.
- iii) Si no se puede sumar, multiplicar o dividir.
- iv) En tanto sea posible, evitar restar o elevar a potencia.

El valor de mejorar los datos

Si se toma la derivada parcial del error en Z, respecto del error en una de las variables independientes, X_i , se puede calcular la tasa de mejora que se obtendría al medir esa variable en forma más exacta. Despreciando el término debido a la correlación, queda:

$$\partial e_z / \partial e_{X_i} = \left(\partial f / \partial X_i \right) \cdot e_{X_i} / e_z$$

Considerando estas tasas marginales de mejoramiento y una estimación del costo de mejorar los datos (tomando una muestra mayor, por ejemplo) es posible –en teoría– determinar el presupuesto óptimo para mejorar un conjunto de datos. Se derivan de inmediato dos reglas:

- i) Se debe concentrar el esfuerzo en las *variables importantes*, es decir, aquellas que tienen un mayor $(\partial f / \partial X_i)$, puesto que afectan con más fuerza a la variable dependiente.
- ii) Se debe tratar de mejorar la medición de aquellas variables con un error (e_{X_i}) grande.¹

¹ Ejemplo: consideremos el modelo $Z = xy + w$, en que al medir las variables independientes, se han obtenido los siguientes resultados:

$$x = 100 \pm 10; y = 50 \pm 5; w = 200 \pm 50.$$

Además, se sabe que el costo marginal de mejorar cada dato es el siguiente:

Costo marginal de mejorar x (a 100 ± 9) = \$ 5.000

Costo marginal de mejorar y (a 50 ± 4) = \$ 6.000

Costo marginal de mejorar w (a 200 ± 49) = \$ 20

Aplicando la fórmula de propagación de error, se obtiene: $e_z^2 = y^2 \cdot e_x^2 + x^2 \cdot e_y^2 + e_w^2 = 502.500 \Rightarrow e_z = 708,87$

Procediendo en forma análoga, se tendría que valores de e_z mejorado serían, entonces:

- Debido a una mejora en x: 674,54
- Debido a una mejora en y: 642,26
- Debido a una mejora en w: 708,80

Aplicando ahora la fórmula del error en z respecto de X_i , tenemos:

$$\begin{aligned} \partial e_z / \partial e_x &= y^2 \cdot 10 / 708,87 = 35,2 \\ \partial e_z / \partial e_y &= 70,5 ; \partial e_z / \partial e_w = 0,0705 \end{aligned}$$

Estas tres últimas son *tasas de mejora marginales* correspondientes a cada variable. Para calcular el costo de mejora marginal en e_z , se debe dividir el costo marginal de mejorar cada variable por su tasa de mejora marginal respectiva, lo que no da:

Costo marginal de mejorar e_z , proveniente de:

- Mejora marginal en x = \$ 142,05 (5000/35,2)
- Mejora marginal en y = \$ 85,11 (6000/70,5)
- Mejora marginal en w = \$ 2833,69 (20/0,0705)

Así, si la reducción marginal en e_z vale al menos \$ 85,11, convendría mejorar la variable y.

METODOLOGÍAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Refiere a temas de recolección de datos y su representación para ser usados en modelación de transporte.

Las limitaciones prácticas tienen fuerte influencia en determinar cuál es el tipo de encuesta más apropiado en una situación determinada. Las restricciones principales más frecuentes en estudios de transporte son:

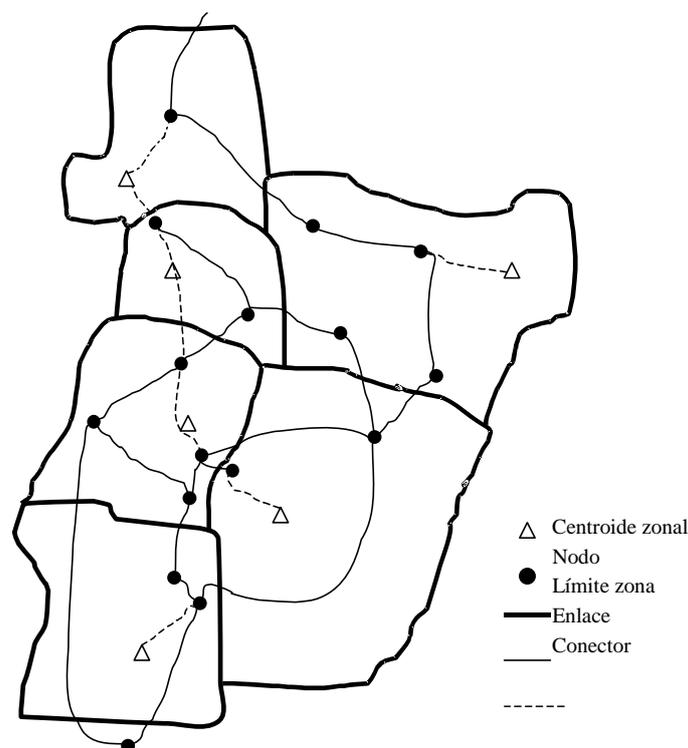
- a) Duración del estudio. Tiene gran importancia, ya que determina cuánto tiempo y esfuerzo es posible dedicar a la etapa de recolección de datos.
- b) Horizonte de predicción, que plantea dos problemas posibles:
 - Si el año de diseño está muy cerca no va a haber mucho tiempo disponible.
 - Normalmente en estudios estratégicos se busca predecir a 20 o más años de plazo, esto implica, típicamente que habrá un gran error asociado a la predicción que sólo se conocerá en 20 o más años; por lo tanto el plan debe ser flexible.
- c) Límites del área de estudio. El área de interés y el área de estudio deben ser diferenciadas (la primera es generalmente mayor, ya que en 20 años se debiera esperar que el área de estudio se desarrolle).
- d) Recursos. Se necesita conocer más o menos clara y detalladamente, cuánto personal y de qué nivel estará disponible para el estudio, facilidades computacionales y restricciones para su uso.

Zonificación: El sistema de zonas se utiliza para congrega los hogares individuales, oficinas y otros lugares de trabajo o servicios, en grupos más manejables desde el punto de vista de la modelación. Las dos dimensiones claves de un sistema de zonificación son el tamaño y el número de zonas, que por supuesto están relacionadas.

Criterios: compatible con otras divisiones administrativas; suponer todas sus actividades en el centroide; homogéneas en cuanto al uso del suelo y/o la composición de la población; límites compatibles con cordones internos y líneas de pantalla; límites no definidos por arterias viales importantes, forma que permita una fácil determinación del centroide (usar centro ponderado de densidades poblacionales y no su centro geográfico si resulta una forma irregular).

Representación de la red: En un modelo computacional, la descripción de la red de transporte puede hacerse a distintos niveles de detalle y requiere la especificación de su estructura, sus propiedades o atributos, y la relación entre éstos y los flujos de tránsito.

Normalmente, la red se modela como un grafo dirigido, esto es, un sistema de nodos y enlaces que los unen; la mayoría de los nodos representan intersecciones y los enlaces representan secciones homogéneas de vía entre ellas. Los enlaces se caracterizan por varios atributos, tales como longitud, curvas flujo-velocidad y capacidad (asociada al número de pistas). Un subconjunto de los nodos se asocia a los centroides de las zonas, y un subconjunto de los enlaces corresponde a los conectores de centroides.



Elementos de periodización: Para estimar los beneficios de un proyecto en una determinada época, se deben predecir las condiciones de operación de cada alternativa considerada en la red estratégica que representa al área de estudio. Como las condiciones de operación varían con los flujos, frecuencias y capacidades, y éstos, a su vez, varían dentro de cada día, semana, mes o año, no es correcto efectuar predicciones con los valores promedio de estas variables para la época estudiada, ya que las demoras, consumo de combustible y otras fuentes de beneficios, no son lineales con el flujo y capacidad.

En el caso urbano, se acepta como criterio único de periodización el impacto del flujo en términos de *demoras*. El requisito es conseguir que la demora total, estimada con los valores promedio de los flujos y capacidades sobre el conjunto de intervalos que conforman el período, difiera poco de la que se obtendría estimándola separadamente para cada uno. Esto conduce típicamente a tres períodos: punta de la mañana, punta de la tarde y fuera de punta.

En el caso interurbano, la selección se basa en el nivel de flujo circulante en el área estudiada. Para definir la periodización, se requiera información histórica que permita, en primer lugar, distinguir estacionalidades (p.ej. períodos de invierno, primavera y verano) y dentro de cada una sub-períodos (de duración semanal o incluso diaria), tales como alta laboral, fin de semana, punta de ida o regreso. Finalmente, en cada sub-período se deben seleccionar las horas más representativas y se debe definir en cuáles de ellas se efectuará la recolección de información.

Técnicas de recolección de información

Para predecir el comportamiento de los usuarios de un sistema de transporte, se han ocupado tradicionalmente técnicas basadas en la observación del comportamiento real de los individuos, es decir, el medio de transporte utilizado, el tiempo de viaje medido entre un par origen-destino, la tarifa del servicio, etc.; este conjunto de información constituye lo que se denomina "**preferencias reveladas**" (PR) (sección transversal). Sin embargo, las PR presentan problemas serios si se desea utilizarlas en el análisis de opciones que no estén presentes en el año base (p.ej., la introducción de un nuevo servicio) o cuando se intenta determinar el efecto de atributos relativamente subjetivos o difícilmente medibles como la seguridad o la comodidad.

Para modelar la demanda en los últimos años, ha surgido con fuerza un conjunto alternativo de técnicas, las "**preferencias declaradas**" (PD), que consisten en obtener respuestas de los individuos respecto a cómo actuarían en determinadas situaciones de elección hipotéticas. Por construcción, estas técnicas no poseen las desventajas de las PR, pero están sujetas a la indeterminación que significa no tener seguridad si los individuos actuarán realmente como lo han declarado cuando se presente la ocasión.

Se basan en juicios (datos) declarados por individuos acerca de cómo actuarían frente a diferentes situaciones hipotéticas que les son presentadas. Estas técnicas, originadas en la psicología matemática, tienen en común el uso de diseños experimentales para construir las alternativas hipotéticas; esto es, las diferencias de las técnicas de "preferencias reveladas" (PR), que utilizan datos sobre situaciones observadas, es decir, situaciones "reales". El objetivo de estas técnicas es estimar funciones de utilidad para las alternativas presentes en el experimento. Por su naturaleza, las metodologías de PD requieren del diseño de una encuesta con un propósito específico que depende del tipo de estudio a realizar.

Las alternativas de elección que se les plantean a los encuestados son, típicamente, descripciones de una situación o contexto construido por el investigador, que se diferencian a través del valor que toman sus atributos.

PD versus PR

Existen ventajas de las PD sobre las PR con respecto al costo y tiempo requerido para el análisis. Mientras las PR necesitan información adicional a las encuestas (por ejemplo el uso de modelos de redes para obtener los tiempos y costos de viaje para cada individuo), las encuestas de PD son totalmente autónomas, puesto que los escenarios planteados definen completamente las variables necesarias para la modelación; esto permite ahorrar gran cantidad de tiempo y otros recursos. De hecho, esta autonomía es la que elimina el error de medición en los datos (por ejemplo, al no utilizar modelos de redes en el cálculo de las variables de servicio se evitan los problemas de agregación espacial y errores de codificación de la red).

Sin embargo, las PD también presentan desventajas frente a las PR. La más importante de todas es que pueden existir grandes diferencias entre lo que los individuos declaran que harían en una determinada situación y lo que realmente harán si ésta se presenta. Además, existen ciertas predisposiciones (errores no aleatorios) debidas a experiencias anteriores, percepciones cotidianas de los encuestados, o interacción entre el encuestador y los encuestados, que pueden distorsionar la información obtenida a través de una encuesta de PD.

Tamaño de las muestras

Para determinar el tamaño muestral se puede utilizar la siguiente expresión:

$$n \geq \frac{p(1-p)}{\left(\frac{e}{z}\right)^2 + \frac{p(1-p)}{N}}$$

donde n es el número de pasajeros a encuestar, p es la proporción de viajes con un destino predeterminado, e es un nivel aceptable de error (expresado como una proporción, z es la variable Normal estándar para el nivel de confianza requerido y N es el tamaño de la población (esto es, el flujo observado de pasajeros en la estación de control).

Para N, e y z dados, el valor p = 0,5 produce el valor más conservador (mayor) de n; así tomando este valor y considerando e = 0,1 (esto es un error máximo de 10%) y z = 1,968 correspondiente a un nivel de confianza del 95%, se obtienen los valores que se muestran en la tabla siguiente. Como los flujos en una estación de control pueden ser muy variables durante el día, puede ser muy complicado intentar implementar una estrategia como la de la tabla, por lo que puede ser recomendable utilizar una versión simplificada como se muestra en la segunda tabla.

Variación del tamaño muestral con los pasajeros por hora		
N (pasajeros/hora)	n (pasajeros/hora)	n/N (%)
100	49	49,0
200	65	32,5
300	73	24,3
500	81	16,2
700	85	12,1
900	87	9,7
1.100	89	8,1

Tamaño de muestra en función del flujo horario	
Flujo horario estimado (pasajeros/hora)	Tamaño muestral (%)
900 o más	10,0 (1 cada 10)
700 a 899	12,5 (1 cada 8)
500 a 699	16,6 (1 cada 6)
300 a 499	25,0 (1 cada 4)
200 a 299	33,3 (1 cada 3)
0 a 199	50,0 (1 cada 2)

Conceptos básicos de muestreo

Consideraciones estadísticas en diseño muestral

El objetivo del diseño muestral es asegurar que los datos a ser analizados provean la mayor cantidad de información útil al menor costo.

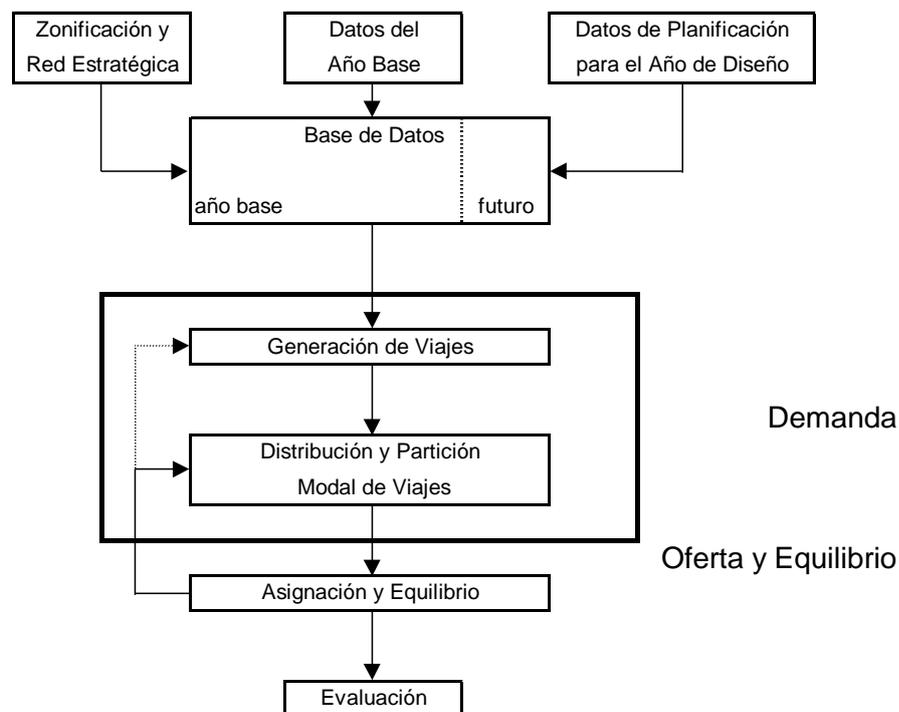
- a) Muestra: se define como una colección de unidades que constituye una proporción de una población mayor y que es especialmente seleccionada para representar a la población total.
- b) Población de interés: es el grupo completo para el que se desea recolectar información.
- c) Métodos de muestreo: la mayoría de los métodos aceptables se basan en alguna forma de muestreo aleatorio; lo fundamental en estos casos es que la selección de cada unidad se realice en forma independiente y que cada unidad en la población tenga la misma probabilidad de ser muestreada. Los métodos de mayor interés son:
 - Muestreo aleatorio simple, que no sólo es el método más sencillo, sino que constituye la base de los restantes. Consiste en asociar un número identificador a cada unidad en la población y luego seleccionarlos al azar para obtener la muestra. Así, teóricamente, la probabilidad de ser seleccionado es la misma para cada miembro de la población. El problema es que para garantizar esto pueden requerirse muestras muy grandes.
 - Muestreo aleatorio estratificado, en que se utiliza información a-priori para subdividir la población en estratos, de forma que las unidades al interior de cada una sean tan homogéneas como sea posible respecto a la variable estratificadora. Luego se muestrea aleatoriamente en cada estrato, ocupando la misma fracción muestral.
- d) Error muestral y sesgo muestral: son los dos tipos de error en que se puede incurrir al tomar una muestra y que, al combinarse, contribuyen al error de medición de los datos muestrales. El primero surge simplemente porque se está tratando con una muestra y no con la población total, vale decir, va a estar siempre presente a factores aleatorios.
- e) Tamaño muestral: no existen reglas claras para el cálculo del tamaño de la muestra en todo tipo de situaciones.

EL MODELO DE TRANSPORTE MODERNO

El submodelo de asignación de viajes considera los aspectos de oferta y equilibrio oferta-demanda. En su versión original, sólo se encargaba de distribuir los viajes por cada medio de transporte entre las distintas rutas disponibles para cada par de zonas. Esta asignación se efectúa de modo de conseguir lo que se conoce como un *equilibrio de usuarios*. Este consiste simplemente en asegurar que en el equilibrio (cuando el modelo converge), todas las rutas seleccionadas tengan un costo mínimo e igual entre sí; es fácil ver que si esto no ocurre no habría equilibrio, ya que a algunos usuarios les convendría cambiar de ruta. El costo de cada ruta depende del flujo que circule por los arcos que la componen.

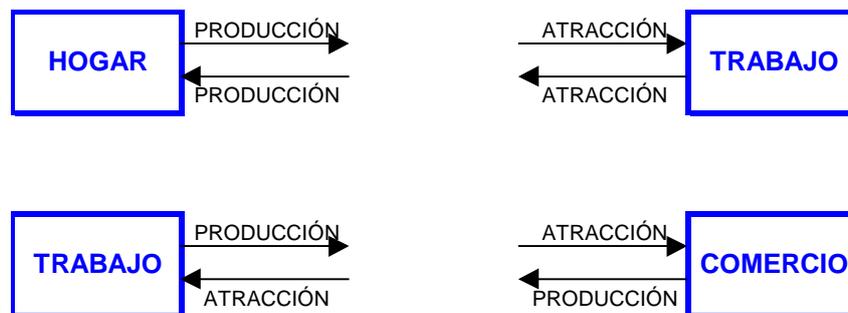
El submodelo es, en la actualidad, de oferta y equilibrio, puesto que cumple una labor bastante más compleja que el mero *equilibrio de tránsito* anterior. El problema es que cuando se asigna esta demanda a la red, sus arcos quedan cargados con flujos que no tienen por qué se iguales a los supuestos previamente para obtener los costos iniciales. Por ende, los costos varían, lo que puede (y de hecho sucede cuando existe congestión) afectar el número de viajes por cada medio entre cada par de zonas (esto es, la demanda que se debe asignar en el cuarto submodelo).

Visión moderna del modelo de transporte clásico



GENERACIÓN DE VIAJES

- i) Viaje: es el movimiento en un sentido desde un punto de origen a un punto de destino.
- ii) Viajes basados en el hogar (HB): son aquellos que tienen un extremo en el hogar de la persona que realiza el viaje independientemente de que éste sea el origen o el destino.
- iii) Viajes no-basados en el hogar (NHB): son aquellos que no tienen un extremo en el hogar del viajero.
- iv) Producción de viaje: se define como el extremo hogar de un viaje HB, o el origen de un viaje NHB.
- v) Atracción de viaje: se define como el extremo no-hogar de un viaje HB o el destino de un viaje NHB.



CLASIFICACIÓN PROPÓSITO DE VIAJE

Se ha demostrado, y en la mayoría de los casos es obvio, que se debieran obtener mejores modelos de generación si se distinguen y separan los viajes con distintos propósitos.

- i) Viajes HB: normalmente se separan en cinco categorías: trabajo, compras, estudio, social y recreacional, y otros propósitos.
- ii) Viajes NHB: normalmente no se separan, ya que suelen alcanzar sólo el 15-20% de los viajes.

Para cada propósito, se acostumbra clasificar al menos en viajes en hora punta (peak) y fuera de punta (off-peak).

TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN DE VIAJES EN PLANIFICACIÓN URBANA

A menudo, la proyección de la demanda de viajes es denominada como el proceso de “cuatro pasos”.

Dichos pasos son: generación de viajes, distribución de viajes, elección modal y asignación.

PASO 1 - GENERACIÓN DE VIAJES

La estimación de la generación de viajes busca determinar el número de viajes de personas o vehículos de y hacia actividades en el área de análisis.

Está relacionada al uso del suelo. Factores específicos que influyen en el número de viajes de una región incluyen: posesión de automóvil, ingreso, tamaño de los hogares, densidad y tipo de desarrollo, disponibilidad de transporte público y la calidad del sistema de transporte.

Los modelos de generación de viajes consisten en dos sub-modelos incluyendo modelos de producción de viajes (asociados con el hogar) y modelos de atracción de viajes (asociados a los extremos finales asociados con el final no-hogar del viaje).

En ciudades con utilización habitual de estos modelos se utilizan manuales donde se computan las generaciones de viajes de acuerdo a los distintos usos del suelo.

Cuando no se dispone a priori con dicha información, deben realizarse estudios de campo mediante conteos, encuestas y procesamiento estadístico de información disponible a fin de determinar los viajes generados.

Las **tasas** se presentan bajo la forma de **viajes de vehículos diarios promedio** y **porcentajes de viajes de vehículos durante las horas pico** de la mañana y la tarde del generador.

Al final se deben equilibrar las producciones y atracciones regionales de viajes. Los viajes totales estimados producidos a nivel del hogar deben ser iguales al total de viajes atraídos en los centros de actividad.

Ejemplo de determinación de la generación de viajes

Impacto de Tránsito de Polos Generadores de Viajes Comerciales

Jorge Galarraga, Marcelo Herz, Norma Bonifacino, Graciela Pastor y Rinaldo Rigazio
Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mención Transporte – Universidad Nacional de Córdoba –
Facultad de Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales
Presentado por: Magter. Ing. Mauro Tartabini
11° Congreso de la Vialidad Uruguaya
8, 9 y 10 de Noviembre de 2017 - Montevideo – Uruguay

En Argentina las normativas de licenciamiento para localización de grandes superficies comerciales varían con las ciudades.

La existencia de criterios heterogéneos conducen a las preguntas de

- ¿qué tasas de generación utilizar?
- ¿qué áreas mínimas de estacionamientos internos exigir?

Las normativas varían según las ciudades, y aunque para superficies comerciales mayores a 2500 m² siempre hay algún tipo de previsión sobre estudios de impacto que incluyen el tránsito y requerimientos de áreas internas de estacionamiento, la heterogeneidad de criterios revela la necesidad de disponer a nivel local de métodos de pronóstico de viajes generados en horas críticas para evaluar impactos en el tránsito adyacente, y métodos de pronóstico de demanda de estacionamiento de clientes para prever las áreas mínimas necesarias dentro del predio.

Se registran en la literatura esfuerzos crecientes por comprender mejor la generación de viajes en establecimientos comerciales. En América, el Institute of Transportation Engineers de EEUU a través de su publicación Trip Generation Manual ha reportado periódicamente estudios de generación de viajes que incluyen usos del suelo comerciales (ITE, 2012), y la Red Iberoamericana de Estudio en Polos Generadores de Viajes ha informado sobre estudios regionales (Portugal L.S., 2012).

En un trabajo de Herz y Galarraga, 2014, se analizó e interpretó la evolución de los estudios de supermercados e hipermercados incluidos en diferentes ediciones del ITE y su relación con los de Shopping Centers. El estudio analizó los siguientes usos del suelo ITE: a) Supermercados (Uso del suelo 850), b) Supermercados de Cadenas Regionales (Uso del suelo 854), c) Hipermercados (Uso del suelo 813), d) Shopping Centers (Uso del Suelo 820) y en las siguientes ediciones del Trip Generation Manual: a) Quinta Edición (ITE, 1991), b) Octava Edición (ITE, 2008) y c) Novena Edición (ITE, 2012).

En todos los casos los diferentes tipos de PGV comerciales han sido tratados de manera independiente, es decir estimando tasas y modelos de generación para cada caso. Particularmente los Hipermercados y los Shopping Centers, pese a presentar en muchos casos áreas totales construidas del mismo orden de magnitud han sido analizados separadamente, asumiendo que la generación de viajes presenta comportamientos significativamente diferentes. **Incluso la variable explicativa adoptada no ha sido la misma, mientras en hipermercados se ha empleado el área total construida (ATC) en Shopping Centers se ha utilizado el área bruta locable (ABL).**

El empleo de una única variable explicativa simplifica las estimaciones, ya que resuelve el problema de tener que categorizar el tipo de PGV comercial, sin diferenciar entre supermercado, hipermercado o shopping center. Bajo este supuesto, resulta de la mayor importancia definir la más adecuada. El Área Bruta Locable (ABL) o superficie cubierta alquilable utilizada para categorizar el porte de Shoppings Centers es también frecuentemente utilizada en normativas de ciudades argentinas que categorizan el establecimiento por la superficie del Área de Ventas. Sin embargo los ratios Área de Ventas/Área Total Construida son muy variables aún para

establecimientos de similar área de ventas. A partir de la revisión bibliográfica realizada, se decidió adoptar el criterio definido por la ciudad de Sao Paulo, Brasil que establece como variable independiente el Área Total Construida menos la superficie cubierta de área de estacionamientos (Pereira, 2011). Esta variable resulta más conveniente para la autoridad municipal que puede verificar perfectamente el área total independientemente de las alternativas de layout de las áreas de ventas. Se decidió definirla como Superficie Cubierta Total Computable (SCTC), y el descontar la superficie cubierta de estacionamientos se justifica para no requerir estacionamientos por áreas destinadas a tal fin.

Para el pronóstico de viajes generados en horas críticas, se trató de abarcar un amplio rango de establecimientos comerciales, tanto en lo referente a tipo de actividad como a la superficie cubierta. La SCTC de corte entre supermercado e hipermercado se estableció en 10.000 m². La división entre hipermercado y shopping center se definió asumiendo que los shopping centers debían contar como mínimo con supermercado, plaza de comidas y cines.

En función de la oferta existente en la ciudad de Córdoba, se seleccionaron como grandes superficies comerciales supermercados, hipermercados y Shopping Centers con SCTC variando entre 3.200 y 51.000 m². Se relevaron catorce (14) establecimientos comerciales. Corresponde consignar que para Supermercados se cubre el rango de porte de 3000 a 10000 m², en cuanto a Hipermercados y Shopping Centers el rango de porte varía entre 18000 y 51000 m². En cuanto al período de relevamiento se dio prioridad al correspondiente a la hora pico de la calle adyacente (HP CA), ya que es el que más afecta al funcionamiento de la ciudad. De estudios anteriores (Galarraga et al, 2007) se conocía que la hora pico se produce en días viernes de 18:30 a 20:30 horas. La Tabla 1 informa la SCTC en m² de cada PGV, la cantidad de viajes de automóvil generados (atraídos más producidos) en la hora pico de la calle adyacente y la composición vehicular.

Los conteos se efectuaron en todas las puertas de acceso y salida de los emprendimientos, que variaron entre dos y seis. Se registraron separadamente los ingresos y egresos de automóviles particulares, taxis y remises, motocicletas, bicicletas y otros vehículos durante las dos horas pico mencionadas previamente. Las cantidades de viajes incluidas en la Tabla 1 corresponden a la suma de autos particulares más taxis y remises en los cuatro períodos de 15 minutos consecutivos de mayor volumen. Observando la participación en porcentajes de cada tipo de vehículo en los distintos establecimientos puede advertirse que en promedio de los 14 PGVs se obtiene un 88% de automóviles particulares, un 4,9% de taxis y remises, un 6,4% de motos y un 0,7% de bicicletas. Los viajes de automóviles (particulares más taxis y remises) alcanzan en promedio un 92,9% del total. También se observa que la participación de taxis, motos y bicicletas varía significativamente entre los establecimientos menores a 10000 m² cubiertos (supermercados) y los de mayores superficies (hipermercados y shopping centers).

Tabla 1: Establecimientos comerciales relevados, viajes generados en automóvil y composición vehicular

Establecimiento	SCTC (m ²)	HP CA (Viajes)	Autos (%)	Taxis (%)	Motos (%)	Bicis (%)
Supermercado 1	3.205	327	86,9	2,4	9,0	1,7
Supermercado 2	3.653	461	80,1	4,6	14,7	0,6
Supermercado 3	4.360	179	90,5	0,6	8,3	0,6
Supermercado 4	4.612	195	91,6	0,2	5,3	2,9
Supermercado 5	6.103	150	95,0	2,5	2,0	0,5
Supermercado 6	9.314	846	84,9	4,2	9,8	1,1
Hipermercado 1	18.617	791	88,3	6,4	5,0	0,3
Shopping 1	21.339	1.202	83,0	9,9	6,8	0,3
Hipermercado 2	25.921	553	87,6	6,3	5,8	0,3
Hipermercado 3	30.253	696	87,7	4,2	7,7	0,4
Shopping 2	35.000	1.272	89,1	8,7	2,2	0,0
Shopping 3	39.217	1.929	91,4	5,6	2,7	0,3
Hipermercado 4	49.317	2.356	89,2	5,8	4,3	0,7
Shopping 4	51.000	1.586	85,0	7,3	7,0	0,7
Promedio			87,9	4,9	6,5	0,7

La Tabla 2 ofrece los valores promedios por tipo de establecimiento. Los viajes en motos y bicicletas disminuyen su participación en el caso de hipermercados y shoppings, siendo a la inversa para los taxis y remises.

Tabla 2: Composición vehicular (en %) agrupando todas las puertas, entradas y salidas.

Establecimientos	Autos	Taxis	Motos	Bicis
Supermercados	88,2	2,4	8,2	1,2
Hipermercados	88,5	5,6	5,5	0,4
Shoppings Centers	87,1	7,9	4,7	0,3
Hiper y Shopping en conjunto	87,7	6,8	5,2	0,4
Todos en conjunto	87,9	4,9	6,5	0,7

Las tasas de generación de viajes por m² de superficie cubierta total computable (SCTC) para la hora pico de la calle adyacente (día viernes) se muestran en la Tabla 3. Si bien en diferentes contextos socioeconómicos se ha verificado que a mayor porte del PGV, mayor atracción de viajes, se pueden observar en la Tabla 3 rangos importantes en las tasas para similares portes y similares categorías de establecimiento. Al proponer la tasa de generación en función de la SCTC se está implicando la hipótesis de *ceteris paribus*, pero en los establecimientos relevados existen diferencias en los niveles generales de precios ofrecidos y efectivamente se comprobó que las tasas resultan similares cuando se comparan las mismas cadenas comerciales. Esto produce una complicación adicional al pretender pronosticar generación de viajes con variables estáticas como la SCTC cuando también dependen de variables dinámicas como los niveles de precios relativos entre las cadenas comerciales. La magnitud de esos efectos queda reflejada en las desviaciones estándar.

Tabla 3: Tasas de generación de viajes de automóviles. Hora Pico de Calle Adyacente.

Establecimiento	SCTC (m2)	HP CA (Viajes)	Tasas
Supermercado 1	3205	327	0,102
Supermercado 2	3653	461	0,126
Supermercado 3	4360	179	0,041
Supermercado 4	4612	195	0,042
Supermercado 5	6103	150	0,025
Supermercado 6	9314	846	0,091
Hipermercado 1	18617	791	0,042
Shopping 1	21339	1202	0,056
Hipermercado 2	25921	553	0,021
Hipermercado 3	30253	696	0,023
Shopping 2	35000	1272	0,036
Shopping 3	39217	1929	0,049
Hipermercado 4	49317	2356	0,048
Shopping 4	51000	1586	0,031
		Promedio	0,052
		Desv. Estándar	0,032
		Tasa Máxima	0,126
		Tasa Mínima	0,021

La Tabla 4 muestra las tasas medias de generación, las desviaciones estándar y el coeficiente de variación (C.V.) por tipo de establecimiento, observando variaciones significativas entre los establecimientos menores a 10000 m² cubiertos (supermercados) y los de mayores superficies (hipermercados y Shopping Centers).

Tabla 4: Tasas de generación medias y desviaciones estándar de viajes de automóvil

Establecimientos	Tasa Media	Día Viernes	
		Desv. Est.	C.V.
Supermercados	0,071	0,041	0,577
Hipermercados	0,034	0,013	0,382
Shopping Centers	0,043	0,012	0,279
Hiper y Shopping en conjunto	0,038	0,013	0,342
Todos en conjunto	0,052	0,032	0,615

Se estimaron modelos mediante ajuste de funciones, contemplando la totalidad de los datos para hora pico de calle adyacente en día viernes.

Si bien los modelos lineales y potenciales alcanzaron bondad de ajuste relativamente similares, se presentan los segundos, ya que permiten tomar el decrecimiento de las tasas a medida que aumenta la superficie cubierta.

El estudio concluyó en las siguientes tasas:

Modelo de Generación de Viajes Comerciales:

$$Y = 0,5513 X^{0,7389} \text{ con } X = \text{SCTC}$$

(para super, hiper, shopping hasta 50.000 m²) total de superficie cubierta excepto la dedicada a cocheras cubiertas, si están previstas. El exponente menor a 1 refleja tasas decrecientes con el porte del PGV

Tasas de Generación de Viajes Comerciales:

- **Supermercados** (2.500 a 10.000 m²) = **0,07 SCTC**
- **Hipermercados y Shopping Centers** (18.000 a 50.000 m²) = **0,04 SCTC**
- Para SCTC entre 10.000 y 18.000 m² se puede aplicar tasa intermedia

Espacios de Estacionamiento

Umbral: **EE = 0,0184 SCTC** (entre 2.500 y 50.000 m²)

Contemplar como requisito la exigencia de espacios de estacionamiento (EE) para clientes con un mínimo de **1 EE cada 50 m² de SCTC**

Estudios comparados para espacios de estacionamientos

Áreas de estacionamiento dentro del establecimiento

- Para comodidad de los clientes (interés del emprendedor)
- Para protección del uso de calles adyacentes (interés de la comunidad)

Demanda de estac. = Tasa de Arribos x Tiempo Permanencia

Espacios de Estacionamiento EE (veh) = Tasa (veh/h) x Permanencia (h)

Para comodidad de los Clientes Shopping Centers en EEUU

- Urban Land Institute: 20^a hora anual; 4 a 4,5 EE/ 1000 pies cuadrados ABL
- ITE: (enero-nov; dic) 2,5 a 5,9 EE/ 1000 pies cuadrados ABL (Gross Leasable Area)

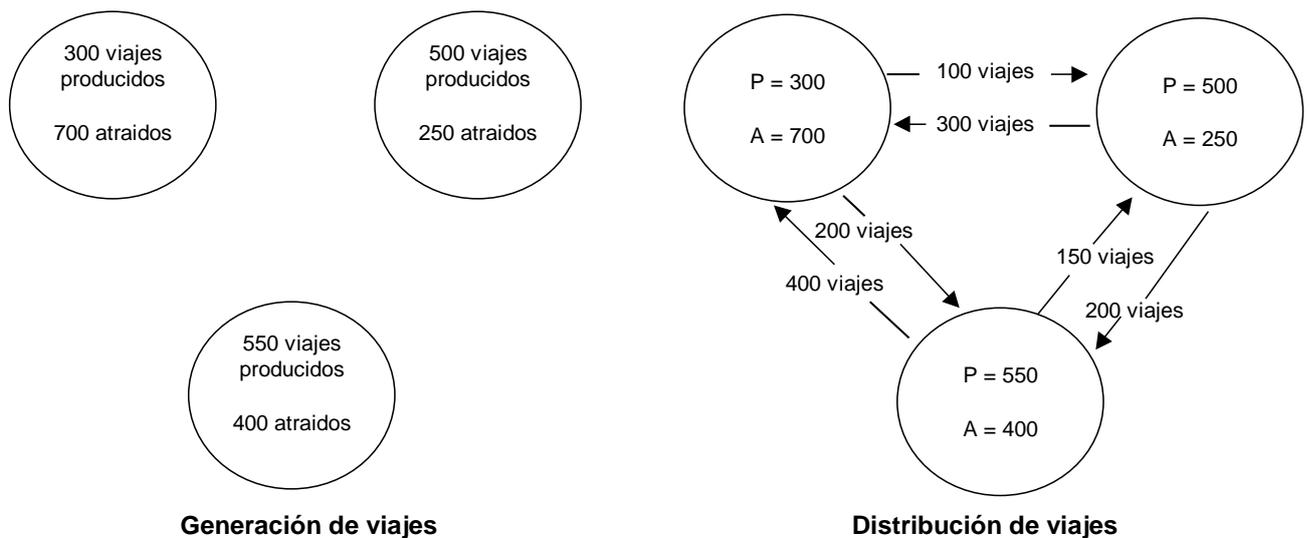
Para Licenciamiento

- Caso Houston, TX, EEUU: 4 EE/ 1000 pies cuadrados ATC (Gross Floor Area – no ABL)
 - Caso San Pablo, Brasil (CEP): 0,0352 ATC (m²) eq. a 3,2 EE/1000 pies cuadrados ATC ,adoptando 25 m²/EE (*)
- (*) Layout pasillos centrales con boxes de 2,5 m x 5 m a 90°

PASO 2 - DISTRIBUCIÓN DE VIAJES

La distribución de viajes vincula las producciones de viajes con las atracciones de viajes para cada par de zonas en el área de análisis. El factor crítico en la distribución de viajes es la facilidad de viaje entre las dos zonas bajo análisis. Influencian en ello la distancia entre las zonas y la eficiencia del sistema de transporte que las une.

El siguiente esquema es una representación esquemática de proceso de generación y distribución de viajes.



El procedimiento de distribución de viajes más usado es el [modelo gravitacional](#). Matemáticamente, se define como sigue:

$$T_{ij} = P_i \left[\frac{A_j F_{ij} K_{ij}}{\sum_{k=1}^{zones} A_k F_{ik} K_{ik}} \right]$$

donde:

- T_{ij} = número de viajes desde la zona i la j
- P_i = número de viajes producidos en la zona i
- A_j = número de atracciones de viaje en la zona j
- F_{ij} = factor de fricción relativo a la separación espacial entre la zona i y la zona j
- K_{ij} = un ajuste opcional de la distribución de viajes para los intercambios entre las zonas i y j

Los factores de fricción son inversamente proporcionales a la separación espacial de las zonas (mientras que el tiempo de viaje aumenta, el factor de fricción disminuye). El factor de fricción es la primera variable independiente y cuantifica la impedancia o medida de separación entre dos zonas.

Se ha descubierto que la función *gamma* funciona bastante bien para la distribución de viajes. Puede expresarse así:

$$F_{ij} = a \times t_{ij}^b \times e^{c \times t_{ij}}$$

donde:

F_{ij} = factor de fricción entre las zonas i y j

a, b y c = coeficientes del modelo; tanto b como c son, en muchos casos, negativos; a es un factor de escala y puede variar sin cambiar la distribución

PASO 3 - ANÁLISIS DE ASIGNACIÓN MODAL

Es el paso más complejo de la modelización. El análisis de elección modal distribuye la totalidad de los viajes de personas zona a zona que resultan del modelo de distribución de viajes en viajes usando cada modo disponible entre el par de zonas. La modelación de la elección modal se usa también para evaluar mejoras en el sistema de ómnibus y estrategias de alta ocupación vehicular (HOV).

Los modelos están basados en la formulación logit. Se identifican las siguientes formulaciones:

- Logit multinomial simple,
- Logit incremental (punto de pivoteo)
- Logit empalmada

El tercer caso se está usando en grandes áreas urbanas donde hay modos de transporte público en competencia y muchos modos de acceso.

Para áreas urbanas pequeñas a medianas la evaluación de los servicios de ómnibus en competencia con el automóvil, es adecuada la formulación logit multinomial.

La formulación matemática generalizada de un modelo logit es una relación que estima la probabilidad de la elección de un modo específico usando la siguiente ecuación:

$$P_i = \frac{e^{u_i}}{\sum_{i=1}^k e^{u_i}}$$

donde:

P_i = probabilidad de que un viajero elija el modo i ,

u_i = una función lineal de los atributos del modo i que describe su atractivo, también conocida como la utilidad del modo i , y

$$\sum_{i=1}^k e^{u_i}$$

= sumatoria de las funciones lineales de los atributos de todas las alternativas, k , para las cuales la elección está disponible

La función lineal de los atributos, o función de utilidad u_i , se compone de:

$$u_i = a_i + b_i \times IVTT_i + c_i \times OVTT_i + d_i \times COST_i$$

donde:

$IVTT_i$ = los tiempos de viaje en el vehículo para el modo i ,

$OVTT_i$ = conjunto de variables que miden los tiempos de viaje fuera del vehículo para el modo i – caminata, espera y tiempos de transferencia -,

$COST_i$ = el costo del modo i ,

a_i = coeficiente específico del modo (constante),

b_i = coeficiente para las variables $IVTT$ del modo i ,

c_i = conjunto de coeficiente para las variables $OVTT$ del modo i ,

d_i = coeficiente para la variable $COST$ del modo i .

PASO 4 - ASIGNACIÓN DEL TRÁNSITO

La asignación de tránsito es el último gran paso, tanto para calles como para el transporte público. La asignación de viajes en la red es el output final del proceso de modelación y se transforma en la base para la validación de la capacidad del modelo de replicar los patrones observados en el año base.

El proceso de asignación del tránsito se conduce por la relación de volúmenes asignados y las demoras causadas por la congestión. Si el

volumen de tránsito aumenta, las velocidades de viaje descienden por aumento de la congestión.

La siguiente formulación es usada para estimar los tiempos de viaje de enlace como una función de la relación volumen – capacidad:

$$T_c = T_f \times \left(1 + \alpha \times \left[\frac{v}{c} \right]^\beta \right)$$

donde:

T_c = tiempo de viaje en el enlace congestionado,

T_f = tiempo de viaje en flujo libre en el enlace

v = volumen de tránsito asignado al enlace (vehículos)

c = capacidad del enlace, y

α, β = coeficientes de volumen/demora (valores básicos de 0,15 y 4,0)

La introducción de lazos de retroalimentación en el modelo supone grados de refinamiento en un esfuerzo por crear un proceso que refleje más precisamente la interdependencia de sus componentes.