

## **ANÁLISIS DE ESTUDIOS DE DEMANDA DE TRÁNSITO VS SU PARADIGMA METODOLÓGICO**

OMAR SANCHEZ JAIMES

Dirección General, Consultoría Integral en Transportes CITRAN S.C.; México.

[OMAR.DIR@CITRAN.COM.MX](mailto:OMAR.DIR@CITRAN.COM.MX)

SERGIO LUGO SERRATO

Dirección General, Soluciones en Infraestructura Sustentable S.C.; México.

[sergiolugo@avantiég.com](mailto:sergiolugo@avantiég.com)

MIGUEL ANGEL MENDOZA

Economista, Consultoría Integral en Transportes CITRAN S.C., México.

[mendozag@servidor.unam.mx](mailto:mendozag@servidor.unam.mx)

OSCAR IVÁN ARISTIZÁBAL OCAMPO

Especialista en Planeación de Transporte, Consultoría Integral en Transportes CITRAN S.C., México

[oscar.esp@citran.com.mx](mailto:oscar.esp@citran.com.mx)

FIDEL EDUARDO VENTURA HERNANDEZ

Especialista en evaluación económica y financiera de proyectos. Consultoría Integral en Transportes CITRAN S.C., México.

[eventura1@cablevision.net.mx](mailto:eventura1@cablevision.net.mx)

### **RESUMEN**

En los estudios de demanda de aforos e ingresos para un proyecto vial se plantea siempre una metodología determinada que lleva a resultados específicos. Hoy en día se emplean metodologías casi idénticas para el desarrollo de esos estudios. Estas se enfocan de manera general pero no atienden de manera particular el objetivo del estudio. Esa metodología debe cambiar, pues se mantiene el paradigma sin importar a detalle los comportamientos históricos de proyectos ya realizados. Su desarrollo es considerado muy generalizado pues debe segmentarse con base en la categoría de estudio o proyecto a desarrollarse. Rompiendo estos paradigmas de procedimientos metodológicos, aplicando una metodología enfocada más al conocimiento y tipo del proyecto a desarrollar, los resultados serán más precisos.

El presente trabajo pretende revisar el comportamiento histórico de la red vial carretera de cuota de México y obtener valores que permitan de antemano ubicar un nuevo proyecto considerando sus situaciones similares con los que ya operan obteniendo información sobre indicadores válidos de demanda, tomando como base la metodología de panel que combina información de corte transversal o sección cruzada con series de tiempo.

## INTRODUCCIÓN

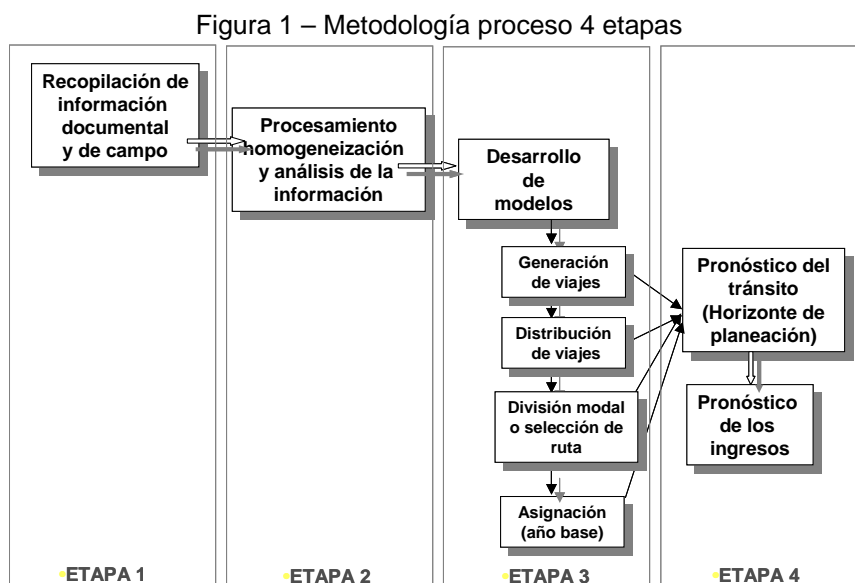
Ante el cúmulo de información sobre el comportamiento de las diferentes autopistas en el país y la información histórica de ciertas variables, la alternativa es la revisión de este comportamiento y su interrelación con las variables socioeconómicas de la región donde se ubica la nueva infraestructura vial (llámese: Tramo carretero, Puente internacional, Puente interior o Libramiento).

Para efectos de este análisis entonces, se dividirá a la infraestructura vial en 4 tipos así: Tramo Carretero, Libramiento, Puente Internacional y Puente Interior. Estos tipos de infraestructura a su vez, se considerarán dentro del mismo análisis, mediante una agrupación de regiones así: Centro, Pacífico, Norte, Sur, Frontera e Interior.

De esta manera, se puede realizar un análisis desagregado de las diferentes infraestructuras, según el lugar del país en donde se encuentren, obteniendo así resultados mediante un modelo aplicado, los cuales permitirán conocer los efectos individuales que tiene cada una de estas infraestructuras en determinada región del país. Con ello, se establece una caracterización específica la cual debe ser tenida en cuenta para los futuros proyectos a analizar.

## 1. ANTECEDENTES Y PREMISA DE TRABAJO

El proceso de planeación de transporte para los estudios de demanda de tránsito para una carretera contempla una metodología basada en el proceso de 4 etapas.



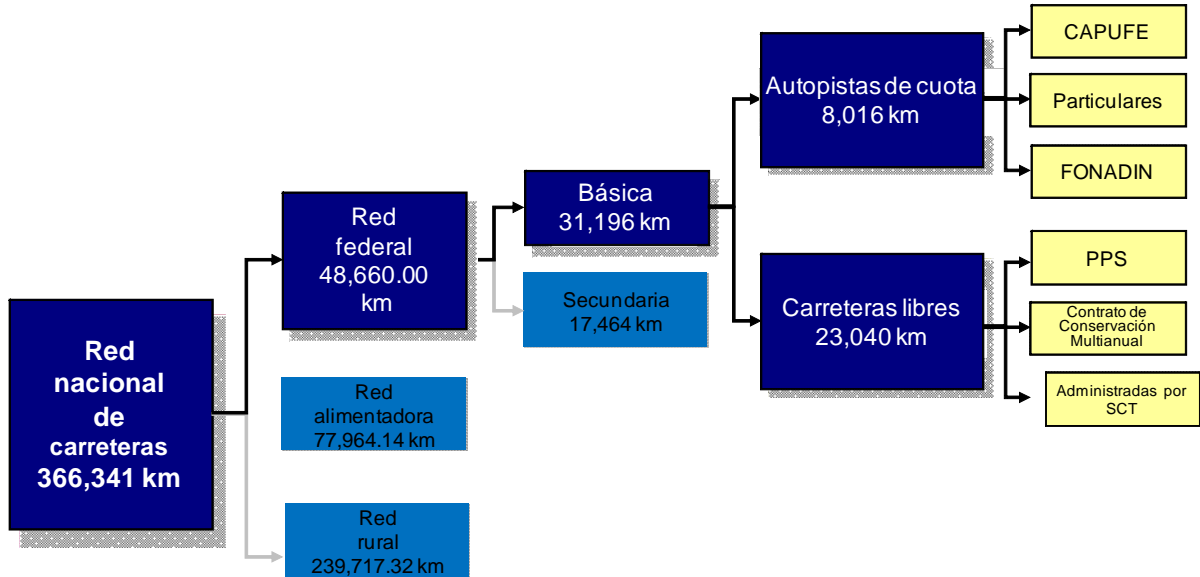
Fuente. Elaboración propia

La gran mayoría de los análisis de planeación contempla esta metodología, que está probada y es aceptada de manera general. Sin embargo, incluso antes de este proceso, se podría realizar un análisis detallado del comportamiento histórico de infraestructura que cumpla con condiciones similares a la que se va a analizar. Mediante patrones de comportamiento sostenibles elaborar el estudio de pre-factibilidad, sin llegar al levantamiento de información innecesaria (aforos, encuestas origen-destino, encuestas de preferencia declarada, tiempos de recorrido entre otros), y con el detalle suficiente para tomar decisiones.

## 2. DATOS RELEVANTES DE LA INFORMACIÓN DE ANÁLISIS

Para poner en contexto, el análisis se realizó sobre el 77.5% de la red básica de cuota, considerando tramos carreteros, Libramientos, Puentes fronterizos y Puentes interiores del país.

Figura 2 – Infraestructura nacional



Fuente. SCT 2010

Se consideraron 113 proyectos de cuota operando algunos desde 1960 y otros desde el año 2008. El TDPA promedio por tipo de vehículo de toda la infraestructura analizada es el siguiente:

Figura 3 – Proyectos de cuota analizados



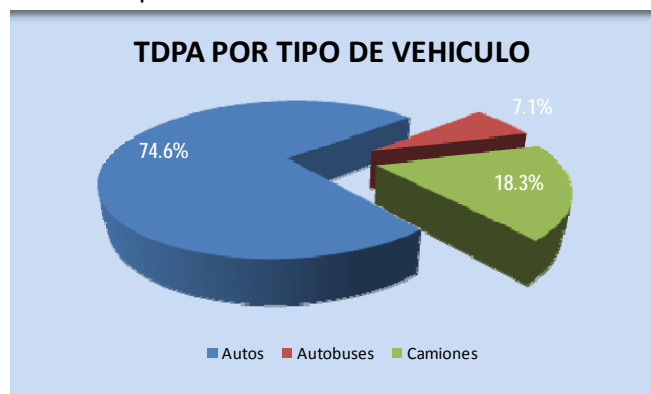
Fuente. Elaboración propia

Tabla 1 - TDPA promedio por tipo de vehículo (1994 - 2004)

Tipo de vehículo	TDPA	%
<b>Automóviles</b>	5,356	74.6%
<b>Autobuses</b>	506	7.1%
<b>Camiones</b>	1,316	18.3%
<b>TDPA</b>	<b>7,179</b>	<b>100.0%</b>

Fuente. Elaboración propia.

Figura 4 – Composición vehicular en la infraestructura analizada



Fuente. Elaboración propia.

Tres cuartas partes del tránsito que circula por la infraestructura de cuota son vehículos ligeros y la otra tercera parte son vehículos comerciales.

La mayor cantidad de carga se presenta en los libramientos que evita el cruce de zonas urbanas de los vehículos de carga. La concentración de intensidad de tránsito se presenta en la infraestructura de cuota localizada en la zona centro del país y los tramos carreteros. Los otros tipos de infraestructura registran datos similares en el valor total, no así en la composición.

Tabla 2 - TDPA promedio por tipo de vehículo y región (1994 - 2004)

REGIÓN	TIPO DE VEHÍCULO			TDPA
	Automóviles	Autobuses	Camiones	
<b>INTERIOR</b>	3,522	385	1,454	5,360
<b>FRONTERA</b>	4,874	23	342	5,238
<b>CENTRO</b>	12,443	1,301	2,188	15,932
<b>PACÍFICO</b>	3,209	334	790	4,333
<b>NORTE</b>	3,045	273	882	4,200
<b>SUR</b>	4,222	493	1,499	6,214
<b>LIBRAMIENTOS</b>	2,484	278	2,247	5,010

Fuente. Elaboración propia

Figura 5 – Intensidad de tránsito por región (TDPA 2009)



Fuente. Elaboración propia

Tabla 3 - TDPA promedio por tipo de infraestructura (1994 - 2004)

TIPO DE INFRAESTRUCTURA	Automóviles	Autobuses	Camiones	TDPA
TRAMO CARRETERO	6,572	680	1,446	8,698
LIBRAMIENTOS	2,484	278	2,247	5,010
PUENTE INTERIOR	3,522	385	1,454	5,360
PUENTE FRONTERIZO	4,874	23	342	5,238

Fuente. Elaboración propia



[1]

$$\ln TDPA_{i,t,c} = \mu_t + \beta_1 \ln((PIBMEXreg_{int,t,c} + PIBMEXreg_{fint,t,c})/2) + \alpha \ln(PIBUSAre_{fint,t,c}) + \gamma_1 \ln(AntL_{i,t,c}) + \gamma_2 \ln(AntL_{i,t,c})^2 + u_{i,t,c}$$

En la ecuación 1  $TDPA_{i,t,c}$  son los TDPA para cada proyecto carretero,  $i=1$  hasta 113, para el periodo de tiempo  $t=1, \dots, 16$ ;  $PIBMEXreg_{int,t,c}$  y  $PIBMEXreg_{fint,t,c}$  son los PIB de las entidades federativas, donde inicia y termina el proyecto carretero respectivamente;  $PIBUSAre_{fint,t,c}$  son los PIB de los estados de los Estados Unidos de Norteamérica referente a la localización de los puentes internacionales; y, por último la variable  $AntL_{i,t,c}$  se refiere a la antigüedad del proyecto carretero, medido como la diferencia de cada año del periodo 1994-2009, con respecto al año en que inicio operaciones el proyecto carretero.

### 3.1.1. Impactos esperados

Los supuestos que se utilizan para explicar los  $TDPA$  de los proyectos carreteros, son: 1) Debido a que las actividades generan más ingresos y por ello mayor movilidad de bienes y personas, se espera que el PIB regional al inicio y final del proyecto carretero tenga un efecto positivo sobre el  $TDPA$ ; 2) El PIB regional de los Estados unidos de Norteamérica, en especial de Texas, tiene un efecto de atracción y por tanto positivo en el  $TDPA$  de los proyectos carreteros del norte del país o fronterizos; y, 3) la antigüedad de los proyectos carreteros tienen un efecto positivo en el  $TDPA$  hasta un límite máximo, con el fin de medir el efecto saturación en las carreteras.

Figura 5 – PIB regional 2009 México



Fuente. Elaboración propia

Figura 6 – PIB regional 2003 México



Fuente. Elaboración propia

### 3.2. Estimación de los modelos TDPA

#### 3.2.1. Métodos de estimación

El modelo panel especificado en la ecuación 1, considera la posibilidad de estimar una constante individual para cada proyecto carretero ( $\mu_i$ ) y una elasticidad PIB regional individual ( $\beta_i$ ). En el primer caso el método de estimación consiste en aplicar lo que se llama el modelo panel de *efectos fijos* y el segundo con el modelo de *efectos individuales*.

El primero es el modelo de mínimos cuadrados en panel, con errores robustos y ponderados por el método SUR para considerar que existe una relación aparente entre los diferentes proyectos carreteros.

#### 3.2.2. Estrategia de estimación

El modelo panel con *efectos fijos* se aplica para estimar los siguientes grupos de TDPA: 1) Total de proyectos carreteros; 2) Tipos de vehículos: Automóviles, Autobuses y Camiones; 3) Tipos de proyectos: Carreteros, Libramientos y Puentes (interior y frontera); y, 4) por regiones: Interior, frontera, Norte, Centro, pacifico y Sur. El modelo panel con *efectos individuales* se aplica para estimar de forma desagregada los proyectos carreteros de la *región centro* y para los *libramientos*.



Tabla 5 – Modelos Panel de TDPA por proyectos carreteros de México: Ln(TDPAi) periodo 1994-2009

	Número de proyectos carreteros	Ln (PIB Regional de México inicio y final del proyecto)	Ln (PIB Regional de USA final de proyecto)	Ln (Antigüedad del proyecto)	Ln (Antigüedad del proyecto) <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>			
		Elasticidad Común	Prob. t	Prob. t	Prob. t	Prob. t			
<b>Total de proyectos carreteros</b>	<b>113</b>	<b>0.50</b>	0.00		147.82	0.00	-4121.54	0.00	0.93
Automóviles	113	0.28	0.04		155.60	0.00	-3523.61	0.00	0.94
Autobuses	112	1.17	0.00		80.46	0.00	-4933.82	0.00	0.93
Camiones	113	0.95	0.00		198.74	0.00	-9501.37	0.00	0.88
<b>Tipos de proyectos</b>									
Carreteros	64	0.68	0.00		118.72	0.00	-1219.51	0.00	0.99
Libramientos	10	1.53	0.00		159.87	0.00	-8519.90	0.01	0.90
Puentes	39	0.31	0.26		47.10	0.00	-603.09	0.01	0.97
Interior	19	0.46	0.00		118.39	0.00	-1723.80	0.00	0.99
Frontera	18	0.22	0.41	1.97	0.00	0.00	-2729.11	0.00	0.97
<b>Regiones</b>									
Interior	19	0.46	0.00		118.39	0.00	-1723.80	0.00	0.99
Frontera	18	0.22	0.41	1.97	0.00	0.00	-2729.11	0.00	0.97
Norte	16	1.18	0.00		141.73	0.00	-6540.10	0.00	0.99
Centro	21	0.96	0.00		50.35	0.00	2810.35	0.00	0.99
Pacífico	12	0.39	0.00		154.83	0.00	-2572.18	0.00	0.96
Sur	15	0.25	0.26		155.20	0.00	508.95	0.59	0.97

Fuente. Elaboración propia

Tabla 6 – Modelos Panel de TDPA para Región Centro de México: Ln(TDPAi) periodo 1994-2009

	Clave del proyecto carretero	Ln (PIB Regional de México inicio y final del proyecto)	Ln (PIB Regional de USA final de proyecto)	Ln (Antigüedad del proyecto)	Ln (Antigüedad del proyecto) <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>			
		Elasticidad Común	Prob. t	Prob. t	Prob. t	Prob. t			
<b>Región Centro</b>		<b>0.96</b>	0.00		50.35	0.00	2810.35	0.00	0.99
		<i>Elasticidad Individual</i>							
<b>Región Centro</b>		<b>0.95</b>	<--Promedio						
Atlacomulco - Maravatío	4	0.86	0.00		49.81	0.00	2996.40	0.00	0.99
Chamapa - Lechería	12	0.91	0.00						
Cuernavaca - Acapulco	18	0.97	0.00						
Ecatepec - Pirámides	21	0.96	0.00						
Guadalajara - Zapotlanejo	29	0.97	0.00						
La Pera - Cautla	32	1.02	0.00						
León - Aguascalientes	36	0.92	0.00						
México - Cuernavaca	54	0.96	0.00						
México - La Marquesa	55	0.92	0.00						
México - Pachuca	56	0.99	0.00						
México - Puebla	57	0.98	0.00						
México - Querétaro	58	0.99	0.00						
Pátzcuaro - Uruapan	61	0.94	0.00						
Peñón - Texcoco	62	0.91	0.00						
Querétaro - Irapuato	109	1.04	0.00						
Rancho Viejo - Taxco	110	0.92	0.00						
San Martín Texmelucan-Tlaxcala	112	0.93	0.00						
Uruapan - Nueva Italia	122	0.92	0.00						
Zacapalco - Rancho Viejo	124	0.84	0.00						
Puebla - Acatzingo	192	1.04	0.00						
Ent. Tulancingo - Venta Grande	195	0.89	0.00						

Fuente. Elaboración propia

Tabla 7 – Modelos Panel de TDPA para Libramientos de México: Ln(TDPAi) periodo 1994-2009

	Clave del proyecto carretero	Ln (PIB Regional de México inicio y final del proyecto)	Ln (PIB Regional de USA final de proyecto)	Ln (Antigüedad del proyecto)	Ln (Antigüedad del proyecto) <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
		<i>Elasticidad Común</i>	<i>Prob. t</i>	<i>Prob. t</i>	<i>Prob. t</i>	<i>Prob. t</i>
Libramientos		1.53	0.00	159.87	0.00	-8519.90 0.01 0.90
		<i>Elasticidad Individual</i>				
Libramientos		1.22	<-Promedio			
Fresnillo	37	1.29	0.00	183.33	0.00	-9001.14 0.00 0.89
Manzanillo	38	1.14	0.01			
Nogales	39	1.18	0.00			
Nororiente de Querétaro	40	1.26	0.00			
Escuinapa - Rosario	41	1.17	0.00			
Oriente de Saltillo	42	1.19	0.00			
Oriente de San Luis Potosí	43	1.24	0.00			
Poniente de Tampico	45	1.15	0.00			
Victor Rosales	48	1.35	0.00			
Matehuala	1070	1.27	0.00			

Fuente. Elaboración propia

#### 4. RESULTADOS

En la tabla 5 se presentan los resultados de las estimaciones del modelo panel con efectos fijos y elasticidades comunes para el total de proyectos carreteros de México. La aplicación del modelo para el total de 113 proyectos carreteros muestra, que en general el TDPA tiene una sensibilidad de 0.5 a la dinámica del PIB regional y cuando se aplica por tipo de vehículos resulta interesante cómo el TDPA de los autobuses tiene la elasticidad al PIB regional más alto y el de automóviles es el más pequeño.

En esa misma tabla 5 se muestran los resultados al aplicar el modelo de efectos fijos por tipo de proyecto carretero, que está dividido en: carreteros, libramientos y puentes. En estos casos las elasticidades indican que los TDPA de los proyectos de libramientos son muy sensibles a la actividad económica donde se encuentra localizado el proyecto, el TDPA de los proyectos carreteros tiene una elasticidad de 0.68 y las estimaciones indican que para el caso de los puentes no existe una relación significativa con el PIB regional. En este caso, la estrategia de análisis alternativo consistió en identificar los puentes fronterizos y los localizados en el interior de la República Mexicana y estimar el modelo de manera separada, considerando para el caso de los puentes fronterizos que las actividades económicas del estado de Texas son la principal fuente de atracción de los viajes.

Las estimaciones muestran que los supuestos son correctos y el TDPA de los puentes fronterizos es muy sensible al PIB de Texas y no tiene una relación con el PIB regional de México. Mientras que para el caso del TDPA de los puentes localizados en el interior, sí existe una vinculación con las actividades económicas de la región.

Por otro lado, cuando los proyectos carreteros se agrupan por región geográfica se encontraron los siguientes resultados: en primer lugar es importante mencionar que las estimaciones para las regiones interior y frontera, son las mismas que las analizadas

anteriormente para los puentes, lo cual implica que las clasificaciones de norte, centro, pacífico y sur están reflejando lo que está sucediendo con los *TDPA* de carreteras y libramientos del país. Con tal observación, los resultados de las estimaciones muestran claramente como los *TDPA* de los proyectos carreteros en el norte de país son más sensibles a la dinámica económica de la misma región, le sigue la zona centro y pacífico, pero resulta muy interesante cómo los *TDPA* de la zona sur no tiene una relación con la actividad económica de la misma región.

Este resultado puede estar señalando que los *TDPA* de los proyectos carreteros pueden estar relacionados con la dinámica de sectores económicos específicos más que todas las actividades que se consideran en el PIB de las regiones; los sectores relevantes pueden ser como el turismo, petróleo, etc.

El modelo de *efectos individuales* se utilizó para estimar las elasticidades para los 21 proyectos carreteros individuales que forman parte de la región centro y los 10 para los libramientos. Las estimaciones se presentan en las tablas 6 y 7, respectivamente, y lo más relevante de cada uno de los resultados es que para el caso de la región centro el promedio de las elasticidades individuales está muy cercano a la elasticidad común lo cual implica que es un grupo homogéneo.

Para el caso de los libramientos el promedio de las elasticidades individuales es mucho menor a la elasticidad común, por lo que implica que debido a la heterogeneidad es muy importante analizar de manera individual la sensibilidad de cada uno de los *TDPA* de los libramientos, a la actividad económica.

## 5. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

- Es posible obtener estudios de pre-factibilidad considerando el comportamiento histórico de algunas carreteras ubicadas en regiones con características similares.
- Es necesario utilizar y reforzar las metodologías actuales con metodologías enfocadas más al conocimiento y tipo del proyecto a desarrollar.
- Obtención de resultados más precisos y enfocados a una solución vial con características determinadas.
- Se pretendería realizar una investigación con todo el universo: autopistas federales, estatales y en algunos casos municipales, recopilando la información histórica suficiente, tal que permita análisis con todas las variables posibles para acotar más los resultados. El método para analizarlo sería el mismo "Método de Panel". Además de considerar la vía de competencia sin cuota en caso de que existiera.

## REFERENCIAS

1. Cal y Mayor & Cárdenas (2007). Ingeniería de Tránsito (Fundamentos y aplicaciones) 8ª. Edición. pp 202-223.
2. Roberto de la LLata Gómez (1991). "Estimación de demanda de transito en carreteras combinando estudios origen-destino con aforos". IMT. Publicación técnica No. 25.
3. Jesús Mur; Ana Angulo (2008). "Datos Panel: Modelos Estáticos. Publicaciones de 4º curso. Modelos regionales.
4. Franco Rodríguez, Ramos Estive y Hernández Cruzata: "Combinación de Datos de Corte Transversal y de Series Temporales: La Utilización de Datos de Panel" en Contribuciones a la Economía, octubre 2010, en <http://www.eumed.net/ce/2010b/>.
5. Hsiao, Cheng (2003) "Analisys of panel data", Cambribge University. ISBN 0521522714