

**ESTUDIOS  
DEMOGRÁFICOS  
Y URBANOS**

Estudios Demográficos y Urbanos

ISSN: 0186-7210

ceddurev@colmex.mx

El Colegio de México, A.C.

México

Ibarra Salazar, Jorge; Sotres Cervantes, Lida  
Estimación de la demanda de viajes en el aeropuerto de Querétaro  
Estudios Demográficos y Urbanos, vol. 20, núm. 3, septiembre-diciembre, 2005, pp. 495-532  
El Colegio de México, A.C.  
Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31220303>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## Estimación de la demanda de viajes en el aeropuerto de Querétaro\*

**Jorge Ibarra Salazar\*\***  
**Lida Sotres Cervantes\*\*\***

*En este artículo se proponen y estiman algunos modelos de demanda de viajes de ajuste parcial para el aeropuerto de Querétaro. Consideramos tres formas funcionales y estimamos las elasticidades del precio de la demanda en el corto y largo plazos que corresponden a cada una de ellas. Encontramos que la demanda es inelástica tanto respecto a la tarifa aérea, como respecto a la actividad económica de la región. Este resultado es consistente con las diferentes formas funcionales estimadas.*

Palabras clave: modelo de demanda de viajes, modelo de demanda de servicios de aeropuerto, elasticidad precio de la demanda de viajes.

Fecha de recepción: 14 de mayo de 2004.

Fecha de aceptación: 21 de junio de 2004.

### Estimating Journey Demand at Queretaro Airport

*This article proposes and estimates some partial adjustment journey demand models for Queretaro airport. The authors considered three functional forms and estimates price elasticities in the long and short term demand corresponding to each of these three forms. They found that demand is inelastic both as regards air fare, and the economic activity in the region. This result is consistent with the different functional forms estimated.*

Key words: journey demand model, airport service demand model, price elasticity of journey demand.

\* Agradecemos el auspicio de Banobras (FINFRA) y de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Gobierno del Estado de Querétaro, así como su autorización para la publicación de este artículo. Agradecemos también los comentarios de dos dictaminadores anónimos que nos ayudaron a mejorarlo; los errores que presente serán responsabilidad nuestra.

\*\* Profesor asociado del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey. Correo electrónico: jaibarra@itesm.mx.

\*\*\* Investigadora del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey. Correo electrónico: lsotres@itesm.mx.

### **Introducción**

Los estudios sobre la demanda de viajes aéreos parten de dos enfoques generales: el macroanálisis de la demanda, que se concentra en las actividades de transportación aérea conforme a la perspectiva de todo un sistema, y el microanálisis de la demanda, que se relaciona con los flujos específicos de pasajeros según su origen y destino mediante la elaboración de estudios de aeropuertos específicos y la aplicación de modelos de elección para examinar la selección de rutas, aerolíneas y tarifas que suelen poner en práctica los usuarios (Kanafani, 1983).

En este artículo aplicamos el marco teórico del microanálisis para estimar la demanda de servicios aéreos en el aeropuerto de la ciudad de Querétaro. Los resultados de esta investigación pueden ser útiles para la planeación aeroportuaria porque permiten prever el volumen del tráfico y de las operaciones del aeropuerto. Los pronósticos de movimientos aéreos pueden ser empleados para evaluar las ventajas de las ampliaciones del aeropuerto actual y contar con un marco de referencia para comparar la capacidad y las características mismas del aeropuerto. Adicionalmente, la estimación de la demanda de viajes puede ser empleada para estudiar la sensibilidad de la demanda ante los cambios de las tarifas y la actividad económica de la región de influencia del aeropuerto. En este texto nos concentramos en la estimación de las elasticidades de la demanda de viajes en relación con la tarifa promedio y con una medida de actividad económica. La aplicación de los modelos estimados en la generación de pronósticos será el motivo de un artículo posterior.

El artículo está organizado de la siguiente manera: en la primera sección nos referiremos brevemente a la literatura relacionada con el tema, en la segunda describiremos la operación del aeropuerto de Querétaro, a continuación presentaremos el marco teórico de referencia, posteriormente explicaremos la metodología empleada en el artículo, después los resultados de nuestras estimaciones, y finalmente las conclusiones.

### **Literatura relacionada con el tema**

Los textos referentes a la estimación de la demanda de viajes en aeropuertos específicos se han centrado principalmente en la elaboración

de pronósticos de demanda y en la calibración de los modelos estimados. Las variables dependientes consideradas en estos estudios son el número de pasajeros y el número de operaciones en los aeropuertos; las independientes son principalmente la tarifa promedio y las variables socioeconómicas del área de influencia del aeropuerto. Karlaftis *et al.* (1996: 96-104), por ejemplo, examinan la habilidad predictiva y la precisión de los pronósticos de los modelos de viaje aéreo aplicados a los aeropuertos internacionales de Miami y Frankfurt. Tales modelos utilizan como variables dependientes la información en series de tiempo de movimiento de pasajeros y el movimiento de aeronaves. Incluyen como variables independientes las características socioeconómicas, el precio del viaje y los índices económicos.

Jacobson (1970) fue uno de los primeros interesados en pronosticar la demanda en un aeropuerto específico. En su estudio consideró como variables independientes la tarifa promedio de todas las rutas del aeropuerto y el ingreso total per cápita de su zona de influencia. Un modelo similar es el de Haney (1975), quien analizó la demanda del aeropuerto de San Luis, en Estados Unidos, y elaboró un modelo típico de pronóstico de demanda de un aeropuerto específico, incluyendo como variables independientes los aspectos sociodemográficos y económicos del área de influencia, y un indicador promedio de las tarifas. En particular, la variable dependiente era el tráfico anual, medido como el número de operaciones, y las independientes eran la población de la región, el empleo total, el ingreso per cápita y la tarifa promedio de los servicios del aeropuerto por milla.

La investigación de Thomet y Sultan (1979) tomó como unidad de análisis al aeropuerto de Riyadh y su objetivo fue pronosticar los pasajeros por kilómetro que procedían y tenían como destino esta región. Las únicas variables explicativas eran las importaciones y exportaciones de petróleo. Un estudio sobre el aeropuerto de la Ciudad de México fue realizado por Zuñiga *et al.* (1980: 24-29); el modelo de pasaje nacional consideró como variables independientes la población de la Ciudad de México y el costo de transportación. El estudio de Mellman *et al.* (1980: 31-37) se refirió al aeropuerto de Boston y relacionó el número de viajes con las características socioeconómicas de la región.

### Operación en el aeropuerto de Querétaro

En esta sección se describe la evolución de las operaciones y pasajeros transportados en el aeropuerto de Querétaro por tipo de aviación,<sup>1</sup> los pasajeros conforme a su origen y destino para las líneas aéreas que componen la aviación comercial A, y la participación de cada uno de los modos de transporte. El periodo de estudio abarca de 1991 a 1998.

#### *Operaciones y pasajeros transportados por tipo de aviación*

Antes de 1992 en el aeropuerto de Querétaro sólo funcionaba la aviación general, cuya capacidad para trasladar pasajeros por operación era muy limitada. De esa forma, en 1991 el total de operaciones y pasajeros transportados por vía aérea en Querétaro estuvo a cargo de la aviación general: en 16 306 operaciones se transportaron 20 338 pasajeros, lo que representó 1.25 pasajeros por operación (véase el cuadro 1).

Fue apenas en 1992 cuando se empezaron a diversificar los servicios en el aeropuerto de Querétaro. Hacia finales de ese año Aerolitoral inició sus operaciones volando a la ciudad de Guadalajara; esto aumentó la capacidad de traslado de pasajeros por operación, de tal forma que la aviación comercial A registró un coeficiente de 7.3 pasajeros por operación en ese año. A pesar de esto, la influencia de la aviación general marcó la tendencia de los indicadores de demanda en el aeropuerto puesto que realizó 96% de las operaciones y trasladó 83% de los pasajeros.

Durante 1993 se consolidó la operación de Aerolitoral e inició sus operaciones Aeromar con vuelos a la Ciudad de México. Estos factores, entre otros, ocasionaron una drástica reducción del número de operaciones en el aeropuerto y al mismo tiempo un aumento de la capacidad de traslado de pasajeros por vía aérea en Querétaro debido al mayor cupo del equipo empleado por Aerolitoral (19 plazas) y por Aeromar (más de 40). De esta forma, mientras el número de operaciones se redujo a 8 560, los pasajeros transportados en 1993 aumentaron a 21 165. Asimismo la participación de la aviación comercial A en el número de operaciones alcanzó 27% del total y su participación

<sup>1</sup> Los tipos de aviación en el aeropuerto son: la aviación comercial A, que corresponde a las aerolíneas comerciales (Aerolitoral y Aeromar en el caso particular de Querétaro); la aviación comercial AA para los taxis aéreos; y la aviación general que proporciona servicios aéreos privados.

en el número de pasajeros transportados 69%, cifras que representan un aumento considerable en comparación con 1992.

En 1994 la aviación comercial AA tuvo una participación notable en el número de operaciones y en los pasajeros transportados. Mientras que durante el año anterior no operó, en 1994 transportó 5 790 pasajeros en 2 469 operaciones. Así, participó con 21% de las operaciones y 11% de los pasajeros transportados. La aviación comercial A experimentó un notable crecimiento en ambos renglones: los pasajeros transportados aumentaron 2.7 veces respecto al año anterior y el número de operaciones se incrementó 40%. De esta forma, su participación en el número de operaciones se mantuvo prácticamente igual (27%), aunque en el número de pasajeros transportados aumentó levemente para situarse en 73%. Un factor que influyó en el crecimiento en los indicadores de la aviación comercial A fue la introducción del vuelo Querétaro-Monterrey por parte de Aeromar.

La apertura de la ruta Querétaro-Morelia de Aerolitoral en 1995 y la consolidación de las rutas abiertas en los años anteriores influyeron en el incremento de las operaciones y los pasajeros transportados en el aeropuerto de Querétaro. Las operaciones de la aviación comercial A aumentaron 26% respecto al año anterior, para situarse en 4 126. En contraste con este crecimiento de la aviación comercial A, las operaciones de la aviación general cayeron 27% y las de la aviación comercial AA se redujeron 11% respecto al año anterior. Como resultado, las operaciones totales en el aeropuerto se redujeron 9%, para situarse en 10 875. El dinamismo en la aviación comercial A causó un aumento notable en su participación, ya que pasó de 27 a 38% del total de las operaciones en ese año. Por otro lado, el movimiento de pasajeros mostró una tendencia muy similar: los transportados por la aviación comercial A aumentaron 9%, mientras que por la aviación comercial AA y los de la aviación general disminuyeron 9 y 16.7% respectivamente. Esto generó un crecimiento en el tráfico de pasajeros del 3 por ciento.

A partir de 1996 Aerolitoral puso en marcha una estrategia para participar en otros mercados y así cubrir algunas rutas largas, además de las cortas que ya realizaba hasta ese año. La estrategia consistió en ejecutar operaciones conjuntas con Aeroméxico, teniendo a la ciudad de Guadalajara como su principal conexión entre Querétaro y Ciudad Juárez, Ciudad Obregón, Culiacán, Hermosillo, Puerto Vallarta, Tijuana y Los Ángeles. Este factor influyó en el comportamiento de los indicadores de demanda para la aviación comercial A: las operaciones

CUADRO 1  
Número de operaciones y pasajeros en el aeropuerto de Querétaro por tipo de aviación, 1991-1998

Variable	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Total operaciones	16 306	12 802	8 560	11 963	10 875	11 274	10 316	13 116
Comercial A	0	138	2 332	3 279	4 126	4 682	4 058	4 850
Porcentaje	0.00	1.08	27.24	27.41	37.94	41.53	39.34	36.98
Comercial AA	0	392	0	2 469	2 208	1 924	1 918	2 445
Porcentaje	0.00	3.06	0.00	20.64	20.30	17.07	18.59	18.64
General	16 306	12 272	6 228	6 215	4 541	4 668	4 340	5 821
Porcentaje	100.00	95.86	72.76	51.95	41.76	41.41	42.07	44.38
Total pasajeros	20 338	11 167	21 165	53 637	55 316	57 308	60 580	69 435
Comercial A	0	1 009	14 501	39 041	42 719	44 346	47 799	55 236
Porcentaje	0.00	9.04	68.51	72.79	77.23	77.38	78.90	79.55
Comercial AA	0	846	0	5 790	5 267	4 478	4 853	4 779
Porcentaje	0.00	7.58	0.00	10.79	9.52	7.81	8.01	6.88
Av. General	20 338	9 312	6 664	8 806	7 330	8 484	7 928	9 420
Porcentaje	100.00	83.39	31.49	16.42	13.25	14.80	13.09	13.57

FUENTE: Aeropuerto de Querétaro, Subdirección de Aeropuertos, Gerencia de Administración de Aeropuertos.

aumentaron 13.5% y los pasajeros transportados 3.8% respecto al año anterior. Ante esta evolución cabe destacar la participación de este tipo de aviación en el aeropuerto de Querétaro, ya que representó 41.5% del total de operaciones<sup>2</sup> y 77.4% del total de pasajeros transportados en ese año. La aviación general mantuvo una participación importante en el número de operaciones, que representaron 41.4%, con las cuales transportó únicamente 14.8% del total de pasajeros. La aviación comercial AA participó escasamente en el movimiento de tráfico del aeropuerto, pues aportó solamente 17% de las operaciones y 7.8% de los pasajeros transportados. El funcionamiento de los diferentes tipos de aviación resultó en un crecimiento de 3.7% de las operaciones totales, y de 3.6% de los pasajeros totales respecto al año anterior.

La consolidación de la ruta Querétaro-Monterrey de Aeromar durante 1997 influyó significativamente en el comportamiento de los indicadores para la aviación comercial A en ese año. Esta ruta experimentó un crecimiento de 40.4% en el volumen del tráfico transportado; de esa forma el número de pasajeros que llevó la aviación comercial A fue 47 779, lo que representó un crecimiento de 7.8% respecto al año anterior y una participación de 78.9% del total en el sistema. El número de pasajeros que viajaron en la aviación comercial AA también aumentó en 1997 respecto al año anterior: este indicador creció 8.4%, con 4 853 personas. Lo anterior trajo consigo un crecimiento en la estadística de viajeros de 5.7% respecto al año anterior. Sin embargo las operaciones totales presentaron un comportamiento opuesto, pues se redujo de 11 274 en 1996 a 10 316 en 1997.

En 1998 Aerolitoral comenzó a viajar hacia el aeropuerto del Bajío y a Acapulco, en tanto que Aeromar hizo lo propio hacia Puebla. La introducción de estos vuelos influyó en el número de operaciones efectuadas y de pasajeros transportados en el aeropuerto de Querétaro. Las operaciones totales tuvieron un crecimiento de 27% para situarse en 13 116 ese año. Contribuyó a este resultado el crecimiento de la aviación comercial A, la comercial AA y la general, de 19.5, 27.5 y 34% respectivamente. Cabe mencionar que la aviación general tuvo la mayor participación (44.4%) respecto al total de operaciones en ese año. Los pasajeros transportados tuvieron también un incremento notable, ya que pasaron de 60 580 en 1997 a 69 435 en 1998, con un aumento de 14.6%. El número de pasajeros que viajaron por la aviación comercial A creció 15.5%, el de aviación general 18.8%, aunque el de aviación

<sup>2</sup> Este porcentaje representa el máximo de la aviación comercial A en el periodo de estudio.



comercial AA se redujo 1.5%. La aviación comercial A transportó en ese año a 55 236 pasajeros, que representaron 79.5% del total, la contribución más alta de este tipo de aviación en el periodo analizado.

*Pasajeros de la aviación comercial A conforme a su origen y destino*

Con la información provista por las líneas aéreas comerciales que operan en el aeropuerto de Querétaro, Aerolitoral y Aeromar, fue posible examinar el movimiento de pasajeros según su origen y destino para la aviación comercial A. En el cuadro 2 se presenta el número de pasajeros sencillos para el periodo 1992 a 1998 atendiendo a su origen y destino.

Aerolitoral comenzó a operar en Querétaro durante 1992, con la ruta a Guadalajara, y durante 1995 introdujo el vuelo a Morelia. La línea aérea Aeromar inició sus operaciones en este sistema en 1993, con su servicio a México, y en 1994 con el vuelo a Monterrey.<sup>3</sup>

Es interesante que el número de pasajeros transportados por Aeromar haya mantenido una tendencia creciente incluso desde que empezó sus operaciones. Para 1995 acaparó gran parte del mercado, pues participó con 80% de los pasajeros, y llegó a 85% en 1998, ya que sus rutas a la Ciudad de México y Monterrey son las que presentan mayor demanda, en comparación con las de Aerolitoral que van a Guadalajara y Morelia.

Contraria a la tendencia de la participación de mercado de Aeromar, la de Aerolitoral fue en descenso desde que comenzó a operar en el aeropuerto de Querétaro. En 1993 contaba con 82% de la participación de mercado y en 1998 transportaba sólo 15% del total de pasajeros.

El número de pasajeros transportados por estas dos aerolíneas presenta un comportamiento opuesto. El de Aerolitoral disminuyó a partir de 1993, y fue la ruta Querétaro-Guadalajara la que marcó dicha tendencia: mientras en 1993 transportaba a 15 677 pasajeros, incluyendo las dos rutas, en 1998 trasladó sólo a la mitad, 7 823. Por otro lado, el volumen de Aeromar registró una tendencia creciente: mientras en 1994 trasladaba a 22 610 pasajeros entre las dos rutas que cubría la aerolínea, en 1998 ya se habían duplicado a 44 439 pasajeros. El número de pasajeros que viajaban en la ruta Querétaro-Monterrey fue un factor determinante en este crecimiento.

<sup>3</sup> Estas rutas son directas y no incluyen conexiones.

CUADRO 2  
Pasajeros sencillos conforme a su origen y destino, 1992-1998

Año	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
<i>Salidas de Querétaro</i>							
Aerolitoral	630	8 056	7 104	3 747	4 474	4 448	3 598
Guadalajara	630	8 056	7 104	3 733	4 408	4 397	3 531
Morelia	-	-	-	14	66	51	67
Aeromar	0	1 817	12 391	16 110	17 485	18 944	22 671
México	-	1 817	11 753	9 583	7 137	4 410	5 300
Monterrey	-	-	638	6 527	10 348	14 534	17 371
Total salidas	630	9 873	19 495	19 857	21 959	23 392	26 269
<i>Llegadas a Querétaro</i>							
Aerolitoral	607	7 621	6 701	3 920	4 421	4 770	4 225
Guadalajara	607	7 621	6 701	3 894	4 234	4 660	4 141
Morelia	-	-	-	26	187	110	84
Aeromar	0	1 656	10 219	14 955	16 792	18 984	21 768
México	-	1 656	9 581	8 428	6 444	4 450	4 397
Monterrey	-	-	638	6 527	10 348	14 534	17 371
Total llegadas	607	9 277	16 920	18 875	21 213	23 754	25 993

FUENTE: Aerolitoral, S.A. de C.V. y Aeromar, S.A. de C.V.

Las estadísticas de pasajeros por ruta muestran cambios importantes. El tráfico de pasajeros de la ruta Querétaro-Guadalajara experimentó un descenso sostenido a partir de 1993; el volumen pasó de 15 677 en 1993 a 7 672 en 1998. Por otro lado, entre Querétaro y Morelia tuvo incrementos poco notables a lo largo del periodo; además esta ruta tiene una participación muy baja en relación con el resto de las que funcionan en el sistema. En promedio anual, se trasladaron 50 personas de Querétaro a Morelia y 102 de Morelia a Querétaro. Cabe mencionar que el número de pasajeros que viajan entre Guadalajara y Querétaro supera considerablemente a los que viajan entre Morelia y Querétaro, lo cual se debe a que la ciudad de Guadalajara es un punto de conexión importante para Aerolitoral.

En relación con los destinos cubiertos por Aeromar a partir de Querétaro, observamos que el volumen de pasajeros que viajaron entre Querétaro y México disminuyó paulatinamente a partir de 1994; entonces se trasladaron 21 334 pasajeros, y para 1998 la cifra se redujo a menos de la mitad, 9 697 pasajeros. Contrario a lo anterior, el volumen de viajeros que se trasladó entre Querétaro y Monterrey alcanzó un elevado crecimiento a partir de 1995; en este año se movieron 13 054 pasajeros, mientras que en 1998 se transportaron 2.6 veces más: 34 742.

Se advierte que en 1998 el volumen más alto de pasajeros transportados correspondió a la ruta Querétaro-Monterrey, con 34 742. Esto representó 66.5% del total del año. Por otro lado, el menor volumen se presentó en la ruta Querétaro-Morelia, que condujo solamente a 151 pasajeros, lo cual representó 0.28% del total en el mismo año.

#### *Participación según los modos de transporte*

En este apartado se presentan los porcentajes de participación correspondientes a cada modo de transporte de pasajeros en Querétaro para el periodo 1994-1997. Se consideran tres medios de transporte: avión, autobús y ferrocarril. La partición modal que aparece en el cuadro 3 se calculó con base en el número de pasajeros transportados por los diferentes medios. Para el transporte aéreo se tomó el tráfico total de pasajeros en el aeropuerto de Querétaro; para el autobús y el ferrocarril se consideró el número de pasajeros transportados tomando a la entidad como punto de origen hacia otros destinos, incluyendo aquellos que se ubican dentro de la propia entidad.

CUADRO 3  
Partición modal del tráfico de pasajeros en Querétaro, 1994-1997

Tipo de transporte	Participación (%)				Promedio
	1994	1995	1996	1997	
Avión <sup>a</sup>	0.4146	0.4587	0.3972	0.3483	0.4047
Autobús <sup>b</sup>	99.4779	99.4214	99.5030	99.6066	99.5022
Ferrocarril <sup>c</sup>	0.1074	0.1199	0.0998	0.0451	0.0931
Total (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Total pasajeros transportados	12 935 755	12 059 628	14 428 557	17 393 151	14 204 273

<sup>a</sup> Pasajeros anuales, aviación comercial A, AA y general. FUENTE: Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA), Subdirección de Aeropuertos, Gerencia de Administración de Aeropuertos.

<sup>b</sup> Pasajeros anuales, clases de lujo, primera y segunda. Para 1994-1995 sólo segunda clase. FUENTE: Centro SCT Querétaro. Dirección General del Centro SCT; Unidad de Programación y Evaluación. Anuario Estadístico del Estado de Querétaro, Ediciones 1995-1998, INEGI.

<sup>c</sup> Pasajeros anuales. FUENTE: Centro SCT Querétaro. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

El modo de transporte más empleado por los pasajeros es el autobús: durante el periodo, en promedio 99.5% de los pasajeros transportados en Querétaro empleó el autobús. El medio punto porcentual restante utilizó el avión (0.4047%) y el ferrocarril (0.0931%). Tal partición modal puede ser explicada por el diferencial de precios entre los medios de transporte, y por aspectos socioeconómicos como la desigual distribución del ingreso, la variedad de destinos ofrecidos por los diferentes modos de transporte y el destino final de los mismos pasajeros. Este último factor, aunado a la diferencia de tarifas, cobra importancia en la determinación de la participación de cada modo de transporte si los destinos finales de los pasajeros no están muy retirados de Querétaro. Esto significa que, por ejemplo, el costo generalizado de viajar por autobús es menor que el de viajar por avión.

### Marco teórico de referencia

Con base en las aportaciones de Kanafani (1983), en esta sección presentamos el marco teórico que se tomó como referencia en la estimación de los modelos de demanda por servicios aéreos para el aeropuerto de Querétaro.

La variable dependiente en los estudios de demanda por viajes es una medida de la actividad del transporte aéreo. Las formas más comunes de medirla son:

- *Volumen de pasajeros.* Se refiere al número total de pasajeros en el sistema de interés durante un periodo dado de tiempo. Dependiendo de los objetivos del estudio, esta variable se puede medir considerando el volumen de pasajeros que llegan a un sistema, o bien el volumen total, incluyendo tanto las llegadas como las salidas. Este último enfoque se emplea en los estudios de planeación aeroportuaria.
- *Operaciones de aeronaves.* Se trata del total de despegues de los aviones en el sistema de que se trate. Esta variable representa un indicador de tráfico y de oferta, ya que se le puede combinar con el equipo aeronáutico empleado para obtener el número de asientos disponibles para despegues.
- *Pasajeros por kilómetro.* Se obtiene multiplicando el viaje de cada pasajero por la longitud del mismo. Ésta es la medida más general para aproximar la actividad de transporte aéreo y del produc-

to de un sistema de transporte aéreo, ya que es un indicador tanto del volumen de pasajeros como de la distancia viajada. En esta forma se mide la cantidad total de transportación.

La estructura de los modelos de demanda por viajes aéreos consiste en la especificación de una forma funcional que tiene como variables independientes un vector de variables socioeconómicas y otro que representa las características del servicio. Este análisis tiene como fundamento la teoría microeconómica de demanda.

Los estudios realizados en esta área se pueden clasificar en dos: macroanálisis y microanálisis. El macroanálisis de la demanda por viajes aéreos se concentra en las actividades de transportación aérea de todo un sistema, con modelos de tráfico que no son estratificados. Es agregado en naturaleza, pues no toma en cuenta las características de las conexiones o modos particulares propios de un sistema o de viajeros particulares. Su objetivo principal es pronosticar los resultados globales de la actividad de transportación aérea. Este enfoque generalmente considera medidas de viajes o actividad aérea de todo un sistema y no incluye el estudio de aeropuertos específicos o flujos de pasajeros conforme a su origen y destino. Generalmente se emplea información anual o estacional.

El microanálisis se relaciona con los flujos específicos de pasajeros atendiendo a su origen y destino y se vale de medidas de actividades de tráfico altamente segmentadas o estratificadas. Los modelos de pares de ciudades aplican la estratificación por origen y destino. Otros modelos en esta clasificación analizan la demanda para aeropuertos específicos y la elección de rutas, aerolíneas, tipos de tarifas y aeropuertos en las áreas urbanas donde hay varios. El tipo de modelo que nos interesa en este artículo es el que estudia la demanda de viajes en aeropuertos específicos.

Los estudios de demanda para aeropuertos específicos se utilizan comúnmente en la planeación aeroportuaria, dado que es necesario pronosticar el volumen de tráfico que puede soportar un aeropuerto. En la práctica son dos los tipos de modelos de demanda para aeropuertos específicos. El primer tipo es agregado y se concentra en el volumen de tráfico total. El segundo es más detallado y estudia la distribución de tráfico en diferentes destinos. En este texto nos referimos al primer tipo.

La estructura general de estos modelos consiste en dos grupos de variables independientes: la actividad socioeconómica y los atributos del sistema de transporte aéreo. Un modelo típico en este enfoque es:

$$T = T(D, S), \quad [1]$$

donde  $T$  es la medida de tráfico que representa la actividad global del aeropuerto en cuestión;  $D$  es un vector de variables socioeconómicas que generan la demanda por viajes aéreos, que para estudios de aeropuertos específicos incluyen el área metropolitana servida por el aeropuerto; y  $S$  es otro vector que incluye los atributos o variables de oferta del sistema. La variable relacionada con el atributo del servicio que suele tomarse en cuenta es la tarifa promedio de los destinos a partir del aeropuerto de interés. La selección de las variables independientes para los modelos de demanda por viajes aéreos sigue dos criterios: la lógica y la disponibilidad de la información apropiada.

Las variables socioeconómicas contenidas en el vector  $D$  son básicamente de dos tipos: la población, para tomar en cuenta el tamaño del mercado, y una medida del ingreso. De acuerdo con la teoría de la demanda, el ingreso es una variable esencial en cualquier estudio al respecto, dado que representa el poder de compra de los consumidores. Además, para el caso particular de la demanda de transporte aéreo, el ingreso es una variable que aproxima la evolución de la actividad económica, y ésta a su vez genera la demanda de viajes aéreos.

Para aproximar el poder de compra y la evolución de la actividad económica, la literatura sobre el tema ha empleado el ingreso total de la región de interés, el ingreso disponible de la región y el ingreso discrecional de los viajeros. Para determinar si la demanda de viajes aéreos puede depender del ingreso de años anteriores y capturar efectos de largo plazo, se ha incluido como variable independiente al ingreso permanente. Como los cambios en la distribución del ingreso pueden influir en la demanda aunque el ingreso promedio no se altere, se ha tratado de capturar este tipo de efectos incluyendo explícitamente dicha distribución. Una forma en que se ha aproximado la distribución del ingreso es con la proporción de la población que recibe ingresos por encima de un nivel predeterminado. El consumo personal refleja que la demanda de viajes aéreos está determinada por la diferencia entre el ingreso personal y el ahorro. La producción regional puede representar el nivel de actividad económica que genera la demanda de viajes de negocios y la misma riqueza de la región. La inversión y el comercio entre regiones son variables útiles para confrontar el nivel de actividad entre pares de regiones. Otras variables que suelen emplearse para estos propósitos son la evolución de las tasas de interés (para conocer las expectativas de los negocios), y los

índices que construyen algunas agencias para medir la confianza de la comunidad de negocios en el desarrollo económico de la región.

Las variables relacionadas con los atributos del sistema, contenidas en el vector  $S$ , representan las características del sistema que convierten la demanda en tráfico aéreo. Las variables más importantes para los estudios sobre la demanda en aeropuertos específicos son: la tarifa aérea, la tarifa de medios competitivos, la velocidad del viaje (para aproximar el tiempo de viaje) y el índice de accidentes (para tomar en cuenta la seguridad).

Para calcular la tarifa aérea en estudios sobre aeropuertos específicos se requiere una variable agregada que incorpore las diferentes tarifas a una misma ruta y las diversas rutas que operan en un aeropuerto. Lo más común es construir un precio promedio ponderado con el tráfico de las diferentes rutas. La tarifa promedio por pasajero en la ruta  $i$  ( $F_i$ ) se puede obtener:

$$F_i = \sum_k \alpha_k F_{ki}, \quad [2]$$

donde  $k$  representa la clase tarifaria,  $F_{ki}$  es la tarifa  $k$  en la ruta  $i$ ,  $\alpha_k = \frac{T_{ki}}{T_i}$  es el porcentaje que representa el tráfico de la clase tarifaria  $k$  en la ruta  $i$  ( $T_{ki}$ ) respecto al tráfico total en la ruta  $i$  ( $T_i = \sum_k T_{ki}$ ). La tarifa promedio en el sistema ( $F$ ) se puede calcular como un promedio de las tarifas totales pagadas por los consumidores:

$$F = \frac{\sum_i T_i F_i}{\sum_i T_i} \quad [3]$$

### Metodología

En esta sección planteamos una metodología para estimar la demanda de viajes en el aeropuerto de Querétaro. Primero explicamos la forma general de los modelos de demanda y enseguida describimos sus variables dependientes e independientes, para luego exponer el proceso de calibración aplicado en los diferentes modelos.



*Descripción de los modelos de demanda*

La metodología empleada tiene como marco de referencia lo expuesto en la sección anterior. Las variables sociodemográficas empleadas en el modelo corresponden al área metropolitana servida por el aeropuerto; la variable relacionada con los atributos del servicio es la tarifa promedio de los destinos a partir del aeropuerto de interés.

El modelo general a estimar para el aeropuerto de Querétaro tiene la relación funcional expresada en [1], donde la medida de tráfico ( $T$ ) se aproxima con dos indicadores: el número de operaciones y el número de pasajeros. El vector  $D$  incluye las siguientes variables: el valor total de la producción de las empresas constructoras en Querétaro, el índice de ventas netas de mercancía al mayoreo en Querétaro, el índice de ventas netas de mercancía al menudeo en Querétaro y la tasa de desempleo abierto general en Querétaro. El vector  $S$  incluye las tarifas aéreas para pasajeros en el sistema, las tarifas de pasajeros en los ferrocarriles y las tarifas de pasajeros en los autobuses en Querétaro.

Con las variables incluidas en el vector  $D$  se pretende captar la evolución de la actividad económica en la ciudad de Querétaro. Se espera que entre mayor sea el dinamismo económico en esa región, mayor sea la demanda de servicios aéreos. Las variables en el vector  $S$  incluyen las tarifas del servicio aéreo y de los servicios que pueden competir con él, como el ferrocarril y el autobús.

El modelo de ajuste parcial ha sido empleado en estudios de demanda por viajes, de ahí que lo apliquemos en este artículo. Se basa en la hipótesis de que el ajuste completo del nivel de tráfico por cambios en las variables que influyen en la oferta y la demanda requiere más de un periodo para materializarse (Kanafani, 1983: 249-251; Anderson y Kraus, 1981: 533-540). En esta forma, el tráfico que se observa en el periodo  $t$  representa una porción de la demanda potencial de ese año. Para incorporar este fenómeno en los modelos de demanda de viajes aéreos, se define la forma funcional del tráfico deseado, la ecuación de ajuste entre el tráfico deseado y el observado, y finalmente se relacionan ambas para llegar al modelo sujeto de estimación. Intuitivamente podría suponerse que este modelo tiene sentido si el cambio potencial en la demanda causado por las variaciones en las variables socioeconómicas toma más de un periodo en materializarse.

Las formas funcionales que se consideraron en este estudio son tres: lineal, logarítmica y semilogarítmica. El modelo lineal es de los

más comunes al estimar funciones de demanda. Su especificación se escribe como:

$$T^*_t = \alpha_o + \sum_r \alpha_r D_{rt} + \sum_n \beta_n S_{nt}, \quad [4]$$

donde  $T^*_t$  es el tráfico deseado en el periodo  $t$ . La expresión que relaciona al tráfico deseado con el observado es:

$$T_t - T_{t-1} = \delta (T^*_t - T_{t-1}), \quad [5]$$

donde el parámetro  $\delta$ , tal que  $0 < \delta \leq 1$ , se conoce como el coeficiente de ajuste. La diferencia entre  $T_t$  y  $T_{t-1}$  es el cambio observado en el tráfico, en tanto que  $T^*_t - T_{t-1}$  es el cambio deseado en el tráfico. Combinando las ecuaciones [4] y [5] se obtiene

$$T_t = \alpha_o \delta + \sum_r \alpha_r \delta D_{rt} + \sum_n \beta_n \delta S_{nt} + (1 - \delta) T_{t-1}. \quad [6]$$

Esta especificación corresponde al modelo lineal que se estima para la demanda de viajes del aeropuerto de Querétaro.

El modelo típico de series de tiempo para estimar la demanda de viajes aéreos es de forma multiplicativa de elasticidad constante o modelo lineal en los logaritmos:

$$T^*_t = C \prod_r (D_{rt})^{\alpha_r} \prod_n (S_{nt})^{\beta_n}. \quad [7]$$

En esta última especificación los parámetros  $\alpha_r$  y  $\beta_n$  representan las elasticidades de las variables  $D_{rt}$  y  $S_{nt}$ , respectivamente. La expresión que representa la relación entre el tráfico observado y el deseado en este modelo multiplicativo es:

$$\frac{T_t}{T_{t-1}} = \left( \frac{T^*_t}{T^*_{t-1}} \right)^\mu, \quad [8]$$

donde  $0 < \mu \leq 1$  es el coeficiente que mide la proporción del ajuste total en la demanda que se materializa en el tráfico observado. Combinando las expresiones [7] y [8], y convirtiendo las variables en logaritmos naturales (ln) se obtiene:

$$\ln T_t = \mu \ln C + \sum_r \mu \alpha_r \ln D_{rt} + \sum_n \mu \beta_n \ln S_{nt} + (1 - \mu) \ln T_{t-1} \quad [9]$$

Ésta es la especificación que se emplea para estimar la demanda de viajes en el aeropuerto de Querétaro en el modelo lineal en los logaritmos. En este modelo los parámetros  $\alpha_r$  y  $\beta_n$  representan elasticidades de largo plazo, en tanto que  $\alpha_r\mu$  y  $\beta_n\mu$  representan las elasticidades de corto plazo.

Los modelos de demanda con elasticidades constantes tienen el inconveniente de que requieren que las elasticidades no varíen en el tiempo, lo cual puede no ser conveniente en estudios cuyo propósito sea pronosticar el tráfico aéreo. Para salvar esta debilidad se puede adaptar el modelo para que las elasticidades no sean constantes. En estudios de demanda de viajes aéreos se ha empleado un modelo en que la elasticidad del precio de la demanda depende de la tarifa. En este caso, cuando el precio se reduce la demanda es más inelástica, ya que el precio representa una proporción menor de los gastos de los viajeros. A este modelo se le denomina semilogarítmico y se escribe:

$$T^*_t = e^{\beta F_t} \prod_r (D_r)^{\alpha_r} \prod_n (S_n)^{\beta_n}, \quad [10]$$

donde  $e$  es el número 2.7183... La expresión que relaciona el tráfico observado y el deseado en este modelo es igual a la del modelo multiplicativo:

$$\frac{T_t}{T_{t-1}} = \left( \frac{T^*_t}{T^*_{t-1}} \right)^\mu. \quad [11]$$

Combinando las ecuaciones [10] y [11] y aplicando logaritmos se obtiene la expresión que se empleó para estimar la demanda de viajes en el aeropuerto de Querétaro:

$$\ln T_t = \sum_r \alpha_r \mu \ln D_r + \sum_n \beta_n \mu \ln S_n + \beta \mu F_t + (1 - \mu) \ln T_{t-1}. \quad [12]$$

En el modelo semilogarítmico, la única variable que no está en términos de logaritmo natural es la tarifa aérea ( $F_t$ ). De esta forma, las elasticidades de corto plazo para las variables diferentes a la tarifa son constantes e iguales a los coeficientes  $\mu\alpha_r$  y  $\mu\beta_n$ , en tanto que la elasticidad precio de corto plazo para la tarifa es igual a  $\beta\mu F_t$ .

*Información y construcción de variables*

Las estadísticas disponibles permitieron cuantificar el tráfico total en el aeropuerto de Querétaro usando el tráfico total de pasajeros y el número de operaciones totales.

Los criterios que se siguieron para elegir las variables independientes fueron dos: que tuvieran una frecuencia mensual para el periodo bajo análisis y que se tratara de indicadores para el estado o la ciudad de Querétaro. De esta forma, a pesar de que existen indicadores de actividad económica mensual más apropiados a los que se han elegido, éstos tienen una cobertura nacional. Las variables socioeconómicas incluidas en el vector  $D$  son las que se han publicado con una periodicidad mensual y se refieren a Querétaro. Las que cumplieron con estas dos características fueron: el valor total de la producción de las empresas constructoras de Querétaro en términos reales, el índice de ventas netas de mercancías al mayoreo de Querétaro, el índice de ventas netas de mercancías al menudeo en Querétaro y la tasa general de desempleo abierto en Querétaro. Las variables que incluye el vector  $S$ , de atributos del sistema, son una medida de las tarifas generalizadas por avión, ferrocarril y autobús.

En el cuadro 4 se presentan la descripción y las fuentes de información de estas variables y en el cuadro 5 la estadística descriptiva. Adicionalmente, la gráfica 1 muestra la evolución de los costos generalizados de viaje en los diferentes modos de transporte para el periodo en estudio, y la gráfica 2 evidencia la evolución de las variables socioeconómicas consideradas en los modelos empíricos. La principal limitación para efectuar las estimaciones de demanda fue la carencia de información apropiada. Una de las variables sociodemográficas más comunes en los estudios de demanda para aeropuertos específicos es la población de la región de influencia. En nuestro caso fue imposible incluir esta variable, pues la frecuencia de la información en nuestros modelos es mensual y la cifra de población únicamente está disponible en las fechas de levantamiento de censos o conteos de población. Si bien existen pronósticos de población para los periodos en que no hay censos, su periodicidad es anual.

La disponibilidad de la información sobre tarifas aéreas a partir de enero de 1995, condicionó que el periodo de análisis en la estimación de la demanda se iniciara en esa fecha y concluyera en noviembre de 1998. Esto es, en las estimaciones de los diferentes modelos de demanda se emplearon 47 observaciones mensuales.

CUADRO 4

**Descripción de variables y fuentes de información**

<i>Variable</i>	<i>Clave</i>	<i>Descripción</i>	<i>Fuente</i>
<i>Tráfico y carga</i>			
Tráfico total de pasajeros	TPA	Número de pasajeros que llegaron y salieron del aeropuerto de Querétaro. Incluye aviación comercial A, AA y general	Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA), Subdirección de Aeropuertos
Operaciones totales	OPT	Número de llegadas y salidas del aeropuerto de Querétaro. Incluye aviación comercial A, AA y general	Gerencia de Administración de Aeropuertos ASA, Subdirección de Aeropuertos Gerencia de Administración de Aeropuertos
<i>Socioeconómicas</i>			
Valor total de la producción de las empresas constructoras en Querétaro en términos reales	VPC	Incluye todos los trabajos de construcción ejecutados por las empresas a precios de venta (millones de pesos a precios constantes de 1994), los cuales corresponden al avance físico que presenta la obra durante el mes de referencia	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Encuesta Nacional del Sector Formal de la Industria de la Construcción
Índice de ventas netas de mercancías al mayorero en Querétaro	VMA	Incluye las unidades que revenden mercancías sin transformación para uso intermedio a fabricantes, servicios, sector público, otros comercios, etc.; es decir, mercancías que se integran a otro proceso productivo	INEGI, Encuesta Mensual sobre Establecimientos Comerciales
Índice de ventas netas de mercancías al menudeo en Querétaro	VME	Incluye las unidades que revenden mercancías sin transformación a consumidores para su uso personal o doméstico	INEGI, Encuesta Mensual sobre Establecimientos Comerciales
Desempleo abierto general en Querétaro	DES	Porcentaje de la población económicamente activa que está disponible, no trabaja o busca incorporarse a alguna actividad económica	INEGI, Encuesta Nacional de Empleo Urbano

Atributos Tarifa aérea	TA	Costo generalizado del transporte por avión por pasajero en pesos constantes de 1994	Cálculos propios con base en información de la Dirección General de Tarifas, Transporte Ferroviario y Multimodal. Subsecretaría de Transporte, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
	TFE	Costo generalizado del transporte por ferrocarril por pasajero en pesos constantes de 1994	Cálculos propios con base en información de la Dirección General de Tarifas, Transporte Ferroviario y Multimodal. Subsecretaría de Transporte, SCT
	TAU	Costo generalizado del transporte por autobús por pasajero en pesos constantes de 1994	Cálculos propios con base en información de la Dirección General de Tarifas, Transporte Ferroviario y Multimodal. Subsecretaría de Transporte, SCT

CUADRO 5  
Estadística descriptiva de las variables

Variable	Número de observaciones	Media	Desviación estándar	Varianza	Mínimo	Máximo
<i>Tráfico</i>						
TPA	47	5 040	626	392 240	3 907	6 635
OPT	47	944	114	13 069	793	1 324
<i>Socioeconómicas</i>						
VPC	47	17	4	20	8	27
VMA	47	81	8	57	67	94
VME	47	74	13	158	58	118
DES	47	5	2	3	2	11
<i>Atributos</i>						
TA	47	529	53	2 773	310	618
TFE	47	156	12	138	134	187
TAU	47	143	4	19	136	155

FUENTE: Cálculos propios con información de ASA, Aerolitoral, S.A. de C.V., Aeromar, S.A. de C.V., INEGI y SCT (véase el cuadro 4).

En los cálculos de las tarifas para los diferentes modos de transporte aplicamos la noción empleada por McKean *et al.* (1995: 96-105) y Anderson y Kraus (1981: 533-540), que consiste en sumar a la tarifa del medio de transporte un costo imputado por el tiempo que dure el traslado. A la suma de la tarifa y el costo del tiempo de traslado se le conoce como costo generalizado del viaje.

El costo generalizado del viaje por diferentes modos de transporte para Querétaro fue calculado a partir de la información sobre tarifas de la aviación comercial A, del ferrocarril y del autobús, y con datos sobre el tiempo de traslado a distintos destinos a partir de Querétaro. Las líneas aéreas del tipo comercial A que sirven al aeropuerto de la ciudad de Querétaro tienen diferentes clases tarifarias para los mismos destinos y han variado en los meses que incluye este estudio. Además, en ese tiempo ha habido diferentes destinos. Aplicando la metodología de los textos sobre el tema hemos diseñado una figura del precio del sistema con una variable agregada que incorpora las diferentes tarifas a una misma ruta, así como las tarifas a las diversas rutas que operan en el aeropuerto que nos ocupa. De esta forma se construyó una tarifa promedio ponderada generalizada con el tráfico de las diferentes rutas (gráfica 1).

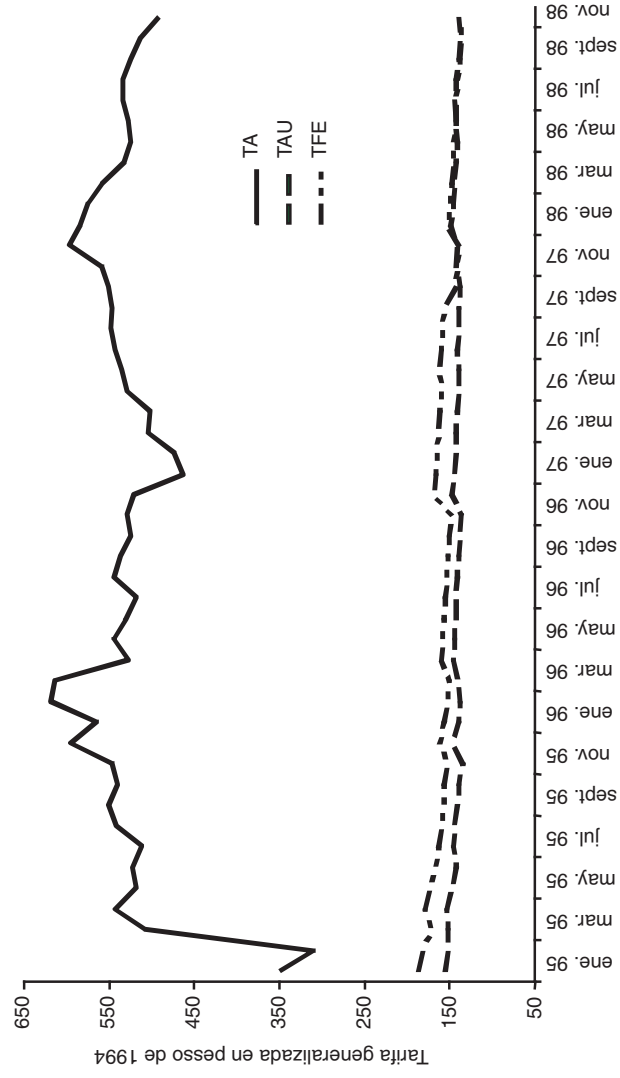
Primero se tomó el promedio de las diferentes tarifas generalizadas del viaje sencillo por destino:

$$TP_{im} = \frac{\sum_k (T_{ik} + 10t_{Ai}w_i)}{K}, \quad [13]$$

donde  $TP_{im}$  es la tarifa generalizada promedio al destino  $i$  (Guadalajara, Morelia y Monterrey por Aerolitoral; México y Monterrey por Aeromar) y  $m = 1, \dots, M$ , representa la tarifa vigente.  $T_{ik}$  es la tarifa del servicio aéreo nacional regular en rutas desde la ciudad de Querétaro ( $i$ ), viaje sencillo sin impuestos, para los tipos o códigos de tarifa  $k = 1, 2, \dots, K$ .  $t_{Ai}$  es el tiempo estimado de vuelo desde la ciudad de Querétaro al destino  $i$  y  $w_i$  es el salario mínimo por hora en la ciudad  $i$ . Dado que no se cuenta con información sobre el valor del tiempo para los usuarios de los diferentes modos de transporte, hemos supuesto que el costo de oportunidad por hora de traslado es igual a 10 salarios mínimos, independientemente del modo de transporte. De esa forma  $10t_{Ai}w_i$ , en la expresión [13], representa el valor del tiempo de traslado, que sumado a la tarifa resulta en el costo generalizado de viaje por avión. Los 10 salarios mínimos corresponden a la marca de clase más alta que considera la *Encuesta Nacional de Empleo* del INEGI al presentar estadísticas por nivel de ingresos. Con relación al costo de oportunidad del



GRÁFICA 1  
Costo generalizado de viaje por avión, autobús y ferrocarril



FUENTE: Cálculos propios con información de ASA, Aerolitoral, S.A. de C.V., Aeromar, S.A. de C.V., INEGI y SCT (véase el cuadro 4).

tiempo de traslado, McKean *et al.* (1995) determinan este costo de acuerdo con la información detallada sobre la ocupación y el estado de empleo de los viajeros. Anderson y Kraus (1981), por otro lado, asignan valores de 0, 10 y 30 como costo de oportunidad por unidad de tiempo de viaje. Por la disponibilidad de información, nuestro enfoque va más de acuerdo con Anderson y Kraus (1981).

Es preciso tomar en cuenta también el tiempo de espera y los retrasos, y no únicamente el tiempo de traslado, pues además de la tarifa, esto hace la diferencia entre los tres modos de transporte considerados.

El monto de las tarifas de las diferentes clases ha mostrado variaciones durante el periodo estudiado que no necesariamente coinciden con los fines o inicios de los lapsos mensuales. Para reconocer la vigencia de las tarifas aéreas se ponderó la tarifa generalizada promedio a cada destino con el porcentaje de tiempo, en los días del mes en cuestión durante los cuales se mantuvieron vigentes. De esta forma la tarifa ponderada por vigencia se obtuvo calculando:

$$TPV_i = \sum_m (TP_{im}) \alpha_m, \quad [14]$$

donde  $\alpha_m$  representa el porcentaje de días del mes en que la tarifa promedio estuvo vigente. Por último, para obtener el indicador agregado de la tarifa aérea para el aeropuerto de Querétaro ( $TA$ ), se ponderó la tarifa por vigencia ( $TPV$ ) con el porcentaje de pasajeros que representa cada ruta respecto al total del tráfico de pasajeros:

$$TA = \sum_i (TPV_i) \theta_i, \quad [15]$$

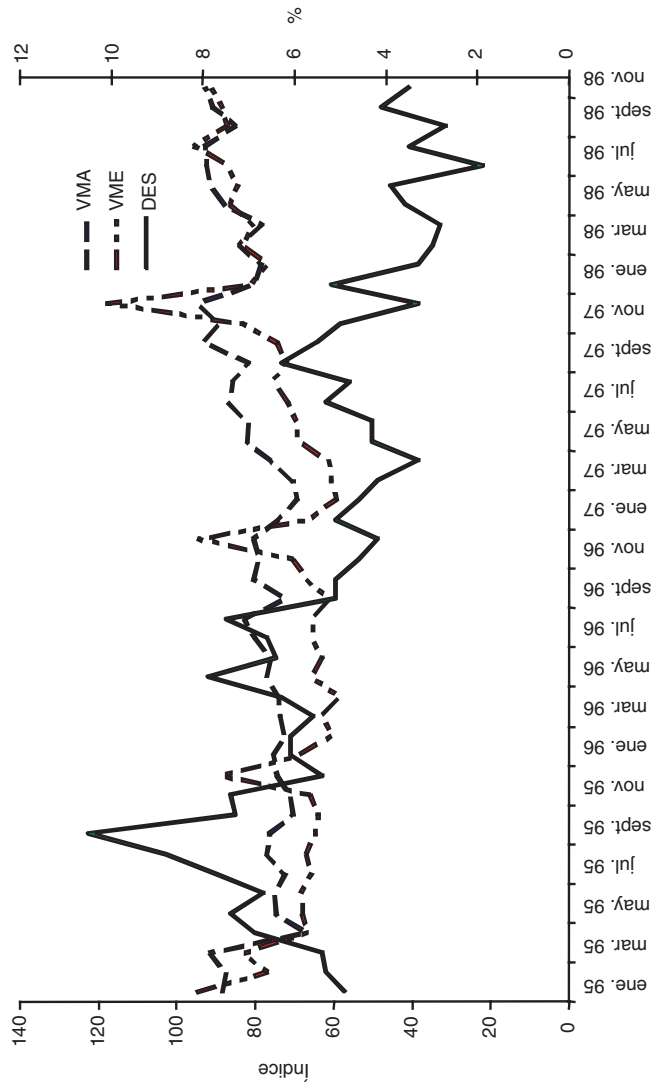
donde  $\theta_i$  representa el porcentaje del tránsito total de pasajeros en la ruta  $i$ , respecto al tránsito total.

La variable de tarifas de pasajeros para el ferrocarril corresponde al costo generalizado promedio por pasajero de viajar de Querétaro a México, Guadalajara y Monterrey. Se eligieron estos tres destinos por ser los principales de la aviación comercial A en Querétaro, cuya operación representó 77% promedio del movimiento de pasajeros de 1994 a 1997. Este indicador se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$TFE = \frac{1}{3} \sum_i (T_{Qi} + 10t_{FEi}w_i), \quad i = \text{México, Guadalajara y Monterrey} \quad [16]$$

donde  $T_{Qi}$  es la tarifa de un viaje sencillo por ferrocarril de Querétaro al destino  $i$ ,  $t_{FEi}$  es el tiempo que toma el viaje por ferrocarril de Que-

GRÁFICA 2  
Variables socioeconómicas: VMA, VME Y DES



FUENTE: Cálculos propios con información de ASA, Aerolitoral, S.A. de C.V., Aeromar, S.A. de C.V., INEGI y SCT (véase el cuadro 4).

rétaro al destino  $i$  y  $w_i$  es el salario mínimo general en el destino  $i$ . Habría sido deseable ponderar las tarifas de origen y destino con el pasaje, pero no fue posible disponer de este dato. La inclusión de la valoración del tiempo de viaje es para aproximar el costo generalizado de viajar por ferrocarril. Como se comentó en un párrafo anterior, suponemos que el costo de oportunidad del tiempo de viaje es igual a 10 salarios mínimos por unidad de tiempo en los distintos modos de transporte.

La tarifa de autobús es un promedio del costo generalizado del traslado por autobús de primera clase de Querétaro a México, Guadalajara y Monterrey.

$$TAU = \frac{1}{3} \sum_i (PD_{Qi} + 10t_{AU}w_i), \quad i = \text{México, Guadalajara y Monterrey} \quad [17]$$

donde  $P$  es el factor de cobro pasajero - kilómetro para servicio de primera clase y  $D_{Qi}$  es la distancia en kilómetros por carretera de Querétaro al destino  $i$ , y  $t_{AU}$  es el tiempo de traslado por autobús desde Querétaro al destino  $i$ . Para construir esta variable, al igual que para la tarifa por ferrocarril, no fue posible ponderar las tarifas a los diferentes destinos, ya que no se contó con información de origen y destino.

#### *Calibración de los modelos*

Siguiendo la metodología de Karlaftis *et al.* (1996: 96-104), en la calibración de modelos de demanda por viajes para aeropuertos específicos aplicamos varias estrategias para estimar la función de demanda por viajes del aeropuerto de Querétaro. Con el propósito de determinar la especificación del modelo de demanda, eligiendo las variables independientes relevantes y eligiendo la mejor forma funcional del modelo, evaluar la validez estadística de los modelos y los supuestos del método de estimación, seguimos seis etapas:

##### *Etapas*

Se crearon las diferentes figuras numéricas para representar el tráfico aéreo de pasajeros del aeropuerto. Estos indicadores se podrían emplear como variables dependientes en los modelos de demanda. Dos variables fueron calculadas: tráfico total de pasajeros (TPA) y número de operaciones totales (OPT).

## Etapa 2

Se clasificaron las variables independientes disponibles que cumplieran con los criterios de regionalidad y temporalidad en dos grupos: socioeconómicas y atributos. Entre las primeras se encuentran el valor total de la producción de la industria de la construcción (VPC), el índice de ventas del comercio al mayoreo (VMA), el índice de ventas del comercio al menudeo (VME) y la tasa de desempleo abierto (DES). Las variables que forman el grupo de atributos son las tarifas de pasajeros por avión (TA), ferrocarril (TFE) y autobús (TAU). Estas variables se construyeron de acuerdo con lo descrito en la subsección anterior.

## Etapa 3

En la selección de las variables independientes en cada modelo se utilizó el criterio de correlación y criterios de selección específicos. Para el primero se obtuvo el coeficiente de correlación entre todas las variables, dependientes e independientes. El cuadro 6 presenta los coeficientes de correlación entre las variables. Con este instrumento estadístico seleccionamos aquellas variables que mostraban una mayor correlación con las variables que miden el tráfico aéreo y que además no estuvieran correlacionadas entre sí. De acuerdo con el segundo criterio se eligió una variable independiente de cada grupo. Esto es, cada modelo estimado tendría por lo menos una variable socioeconómica y una de atributos. Además, la variable *TA* tendría que aparecer en cada modelo de demanda estimado.

Empleando los coeficientes de correlación fue posible determinar la relación entre las variables independientes y de antemano aminorar el problema de multicolinealidad<sup>4</sup> en la estimación del modelo. Así se estimarían dos modelos, uno para cada forma de medir el tráfico aéreo en el aeropuerto de Querétaro:

$$\text{Modelo 1. } TPA_t = f(VMA_t, TA_t, TFE_t, TPA_{t-1}) \quad [18a]$$

$$\text{Modelo 2. } OPT_t = f(VPC_t, VME_t, TA_t, TFE_t, OPT_{t-1}). \quad [18b]$$

<sup>4</sup> Este problema parte de que las variables independientes están relacionadas entre sí, y sus consecuencias prácticas implican que aunque los estimadores de mínimos cuadrados ordinarios sean insesgados y eficientes, sus varianzas son grandes. Como consecuencia, los valores de los estadísticos *t* tienden a ser pequeños, con lo que la variable en cuestión aparenta ser no significativa aunque el coeficiente de determinación sea alto. Así, no es posible identificar el impacto individual de las variables independientes sobre la dependiente en los diferentes modelos. Véase Gujarati (1988: 283-315, cap. 10).

CUADRO 6  
Matriz de correlaciones

	<i>TPA</i>	<i>OPT</i>	<i>VPC</i>	<i>VMA</i>	<i>VME</i>	<i>DES</i>	<i>TA</i>	<i>TFE</i>	<i>TAU</i>
TPA	1.0000								
OPT	0.6530	1.0000							
VPC	0.1249	0.3316	1.0000						
VMA	0.5104	0.4209	0.1042	1.0000					
VME	0.2813	0.4649	0.1486	0.7500	1.0000				
DES	-0.4748	-0.4578	-0.2617	-0.4922	-0.5545	1.0000			
TA	0.0521	-0.1383	0.0933	-0.1654	-0.0502	0.0801	1.0000		
TFE	-0.6125	-0.5192	-0.3000	-0.4178	-0.3224	0.3979	-0.5228	1.0000	
TAU	-0.3521	-0.1550	-0.3491	0.0183	0.1988	0.0533	-0.4716	0.6728	1.0000

FUENTE: Cálculos propios con información de ASA, Aerolitoral, S.A. de C.V., Aero-mar, S.A. de C.V., INEGI y SCT (véase el cuadro 4).

En ambos se incluyó la variable TFE, ya que muestra una correlación parcial mayor con las variables dependientes en cada modelo, en comparación con TAU. En el modelo 1 se incluyó la variable económica VMA, ya que muestra el mayor coeficiente parcial de correlación con la variable TPA. En el modelo 2 se incluyó la variable VME por la misma razón. También se incluye la variable VPC, ya que además de mostrar un alto coeficiente de correlación con OPT, no parece estar correlacionada con VME. Como los diferentes modelos son de ajuste parcial, se ha incluido en cada uno de ellos la variable dependiente rezagada un periodo.

#### Etapas 4

Con las variables seleccionadas se estimaron tres formas funcionales para cada uno de los modelos: lineal, logarítmica y semilogarítmica, tal como se han descrito arriba.

#### Etapas 5

Para propósitos de estimación, a cada forma funcional de cada modelo se le agrega un término de error para reconocer la posibilidad de errores en la medición de variables, así como para capturar el efecto de variables no incluidas en los modelos que también pueden influir sobre el comportamiento del tráfico de pasajeros o número de opera-

ciones. Para estimar los parámetros de cada forma funcional de cada modelo se utilizó el método de mínimos cuadrados ordinarios. Por medio de este método se minimiza la suma de los errores al cuadrado, siendo el error la diferencia entre el tráfico observado y el estimado.

#### Etapas 6

Para analizar la significancia estadística de las variables individuales en cada modelo se usó el instrumento estadístico *t - students*. Para determinar el ajuste del modelo se calculó el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$ ), que indica el porcentaje de las variaciones en la variable dependiente que es explicado por las variables independientes incluidas en el modelo.

Para encontrar evidencias de autocorrelación<sup>5</sup> en la estimación de modelos estimados por mínimos cuadrados ordinarios es común emplear el estadístico Durbin-Watson (DW). Para los modelos de demanda estimados en este estudio, sin embargo, dicha prueba no es aplicable, ya que incluyen como variable independiente a la variable dependiente con un periodo de rezago. En modelos autorregresivos se ha diseñado una variante de la prueba DW: el estadístico DWH. Otra opción es emplear la prueba Breusch-Godfrey, que consiste en hacer la regresión de los errores con las variables independientes de los modelos, incluyendo la variable rezagada y el mismo error rezagado. La prueba de significancia individual para el término de error rezagado nos auxilia en la determinación de la existencia de autocorrelación (Greene, 1993: 411-443).

### Resultados

El cuadro 7 muestra los resultados de las estimaciones. Se puede observar una relación directa entre la variable que aproxima el tráfico total del aeropuerto y la variable de actividad económica, aunque el efecto de esta última no sea estadísticamente significativo.

La variable que mide la tarifa aérea (TA) resultó con un signo negativo en todas las especificaciones de las tres formas funcionales,

<sup>5</sup> Se refiere a la correlación entre los errores en el modelo estimado. Las consecuencias prácticas de este problema son que se puede sobreestimar el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y que los errores de los parámetros estimados por mínimos cuadrados ordinarios pueden estar subestimados, con lo que las pruebas de significancia estadística individuales no son válidas. Véase Gujarati (1988: 353-397, cap. 12).

**CUADRO 7**  
**Resultados de las estimaciones**

	<i>Modelo lineal</i>		<i>Modelo logarítmico</i>		<i>Modelo semilogarítmico</i>	
	<i>TPA</i>	<i>OPT</i>	<i>TPA</i>	<i>OPT</i>	<i>TPA</i>	<i>OPT</i>
Constante	7 783.3** (2.528)	1 694** (4.151)	9.8562** (2.924)	10.521** (4.580)	9.5239** (3.401)	8.5777** (4.652)
VPC		1.6138 (0.5927)		0.0232 (0.4856)		0.0227 (0.4739)
VMA	9.6798 (0.8340)		0.1374 (0.7247)		0.1273 (0.6814)	
VME		0.9736 (0.8805)		0.0556 (0.5964)		0.0659 (0.7041)
TA	-2.1620 (-1.193)	-0.7926** (-2.707)	-0.1460 (-0.8872)	-0.3655** (-2.654)	-0.0004 (-1.134)	-0.0007** (-2.551)
TFE	-25.689** (-2.611)	-5.145** (-3.720)	-0.7449** (-2.455)	-0.8423** (-3.743)	-0.7851** (-2.609)	-0.8259** (-3.670)
Variable dependiente rezagada	0.3242** (2.172)	0.3966** (2.687)	0.3209** (2.146)	0.3744** (2.597)	0.3066** (2.043)	0.3647** (2.483)
R <sup>2</sup> ajustada	0.4974	0.5789	0.4626	0.5505	0.4689	0.5453
Durbin-Watson	1.7701	1.9762	1.7380	2.0242	1.7397	2.0045
Breusch-Godfrey	1.683	-0.4617	2.093	-0.5388	2.040	-0.5084

NOTA: Estadístico *t* entre paréntesis. \* 0.05 <P-value <0.10. \*\* 0.00 <P-value <0.05.



como se esperaba, aunque es estadísticamente significativa únicamente en los modelos que tienen como variable dependiente al número de operaciones totales en el aeropuerto (OPT). La variable de tráfico rezagada tiene un signo positivo en todas las especificaciones y para todas las formas funcionales, y es además estadísticamente significativa. Este resultado valida, desde el punto de vista estadístico, el modelo teórico de ajuste parcial.

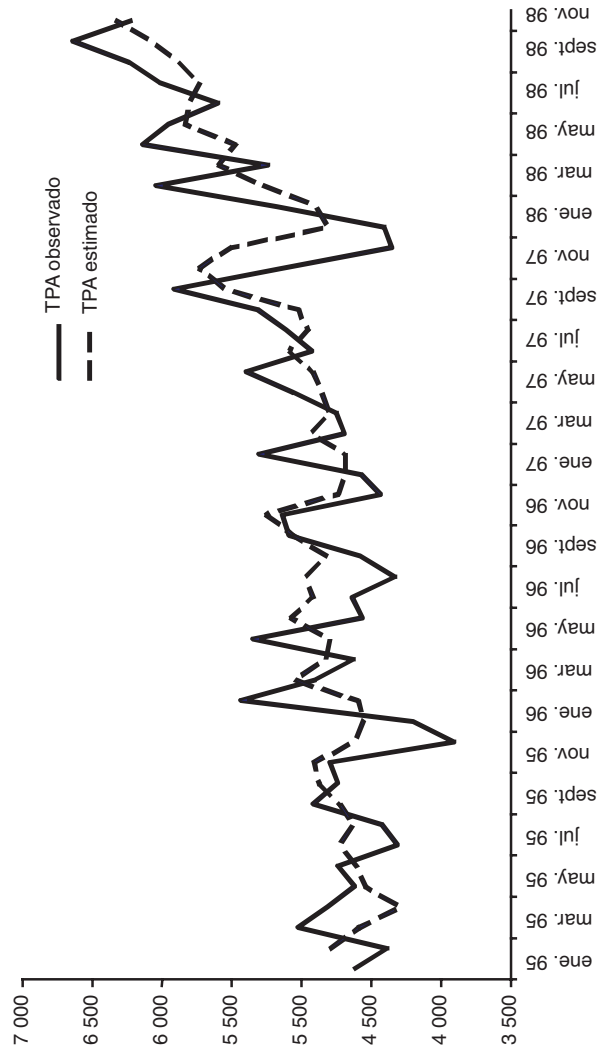
En las diferentes especificaciones y formas funcionales, la variable que aproxima la tarifa de ferrocarril presenta un signo negativo y es además estadísticamente significativa, lo cual significa que el transporte por ferrocarril y el aéreo son complementarios. Este resultado, contrario a lo que se hubiese esperado, puede ser consecuencia de la alta correlación entre las variables de actividad económica y *TA* con la tarifa de ferrocarril. Tratar de eliminar el problema de multicolinealidad existente, sin embargo, pudo haber significado dejar variables explicativas fuera de los modelos.

Los modelos lineales para el tráfico total de pasajeros (TPA) y el número de operaciones totales (OPT), resultaron con un coeficiente de determinación de 49.7 y 57.9% respectivamente. Ninguno de estos modelos muestra evidencia de autocorrelación. Las gráficas 3 y 4 muestran la evolución de las variables dependientes (TPA y OPT) observadas y estimadas para los modelos lineales. El ajuste de las especificaciones logarítmicas es menor que para las lineales. En particular, el coeficiente de determinación para el modelo que usa el tráfico total de pasajeros como variable dependiente es de 46.3%, mientras que para el modelo que usa el número de operaciones totales, el coeficiente de determinación es 55.1%. Hay evidencia de que el modelo logarítmico, donde la variable TPA es dependiente, tiene autocorrelación positiva en los errores.

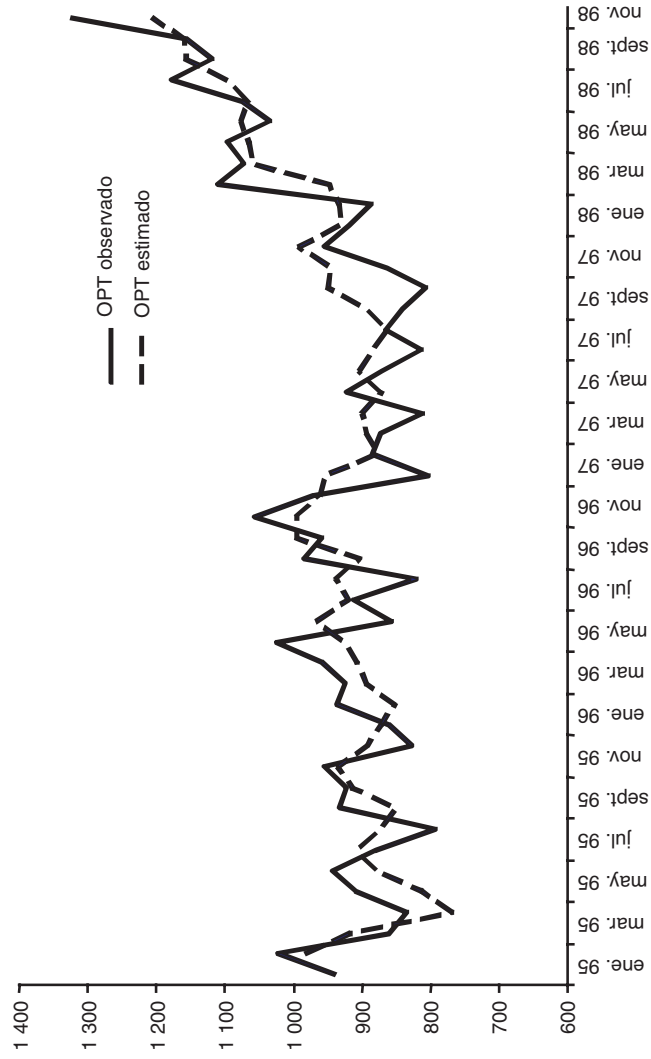
El ajuste que muestran las especificaciones semilogarítmicas es en general menor en comparación con los modelos lineales. Específicamente, los coeficientes de determinación de los modelos que tienen como variables dependientes a TPA y a OPT resultaron con coeficientes de determinación de 46.9 y 54.5% respectivamente. Por último, hay evidencia de autocorrelación positiva en los errores de la especificación que incluye como variable dependiente a TPA.

Las elasticidades estimadas se muestran en el cuadro 8. Cuando corresponde evaluamos las elasticidades en los valores medios de las variables intervinientes. Las elasticidades estimadas respecto a diferentes indicadores de actividad económica son menores que uno (inelás-

GRÁFICA 3  
TPA observado y estimado con el modelo lineal



GRÁFICA 4  
OPT observado y estimado con el modelo lineal



CUADRO 8  
Elasticidades estimadas

	Modelo lineal		Modelo logarítmico		Modelo semilogarítmico	
	TPA	OPT	TPA	OPT	TPA	OPT
VPC						
Corto plazo		0.0291		0.0232		0.0227
Largo plazo		0.0482		0.0371		0.0357
VMA						
Corto plazo	0.1556		0.1137		0.1273	
Largo plazo	0.2302		0.1675		0.1836	
VME						
Corto lazo		0.0763		0.0556		0.0659
Largo plazo		0.1265		0.0889		0.1037
TA						
Corto plazo	-0.2269	-0.4442	-0.1460	-0.3655	-0.2116	-0.3703
Largo plazo	-0.3358	-0.7361	-0.2150	-0.5842	-0.3052	-0.5829
Coefficiente de ajuste	0.6758	0.6034	0.6791	0.6256	0.6934	0.6353

tica). Tal resultado es consistente entre las diferentes especificaciones y formas funcionales. Dicha elasticidad varía en el corto plazo entre 0.023 y 0.156, y en el largo plazo entre 0.036 y 0.23.

Las elasticidades estimadas del tráfico de pasajeros y las operaciones totales respecto a la tarifa aérea son menores que uno en valor absoluto, tanto en el corto como en el largo plazos. Este resultado es también consistente entre las diferentes especificaciones y formas funcionales. Para el tráfico total en el corto plazo la elasticidad de la tarifa varía entre  $-0.146$  y  $-0.227$ , mientras que para las operaciones totales, la elasticidad de la tarifa varía entre  $-0.366$  y  $-0.444$ . Una característica interesante de los modelos estimados es que muestran evidencia de que los coeficientes de ajuste son todos menores que uno, tal como lo predice el modelo teórico de ajuste parcial. De esta forma, el valor absoluto de las elasticidades estimadas en el largo plazo es mayor que el de las de corto plazo.

### Conclusiones

En este texto hemos estimado la demanda de servicios aéreos en el aeropuerto de la ciudad de Querétaro empleando el tráfico total de pasajeros y las operaciones totales del aeropuerto como variables dependientes en los modelos. Para cada especificación de la variable dependiente estimamos tres formas funcionales: lineal, logarítmica y semilogarítmica. De acuerdo con los resultados estadísticos que obtuvimos, consideramos conveniente emplear el modelo lineal para aplicarlo en la planeación aeroportuaria y para elaborar pronósticos del tráfico de pasajeros y del número de operaciones del aeropuerto.

Encontramos que las elasticidades estimadas del tráfico de pasajeros y operaciones totales respecto a diferentes variables independientes fueron bastante consistentes entre las diversas especificaciones y formas funcionales. Los resultados nos muestran que la demanda de viajes en el aeropuerto de Querétaro es inelástica tanto respecto a la actividad económica de la región como respecto a la tarifa aérea. Esto significa que una reducción en las tarifas, *ceteris paribus*, incrementará la demanda en menor proporción: la estimación mayor en valor absoluto muestra que si las tarifas se reducen 10%, por ejemplo, el tráfico de pasajeros en el corto plazo aumentaría sólo 2.3%, y en el largo plazo 3.4%. Igualmente encontramos evidencia de que la demanda de viajes es poco sensible a cambios en la actividad económica. Usando

las elasticidades del tráfico de pasajeros del modelo lineal, un incremento de 10% en la actividad económica, por ejemplo, aumentaría el tráfico de pasajeros en menos de 2% en el corto plazo, y un poco más de 2% en el largo plazo.

Estos resultados deben ser evaluados en términos de la metodología empleada, y también en función de la oferta del aeropuerto de Querétaro y su cercanía con la Ciudad de México. Es bien sabido que una buena proporción de los viajeros aéreos de Querétaro se traslada a la Ciudad de México para efectuar sus viajes. Esto se explica por la oferta aérea de Querétaro. No parece aventurado pensar que una disponibilidad de más vuelos y destinos aéreos soportados con una mayor y mejor infraestructura puede acrecentar la demanda y la sensibilidad de ésta ante cambios en la actividad económica. La viabilidad de tal aumento en la oferta, sin embargo, debe ser evaluada y puede ser objeto de estudios posteriores.

Asimismo debe considerarse que la frecuencia de la información empleada en este artículo es mensual, por lo que no se incluyeron las características de la población ni los aspectos demográficos de Querétaro. Creemos que estas variables pueden influir en la demanda de viajes, y que al elaborar pronósticos deben ser tomadas en cuenta para ajustarlos.

### Bibliografía

- Anderson, J. y M. Kraus (1981), "Quality of Service and the Demand for Air Travel", *The Review of Economics and Statistics*, vol. 63, núm. 4, pp. 533-540.
- Greene, W. (1993), *Econometric Analysis*, Nueva York, Macmillan.
- Gujarati, D. (1988), *Basic Econometrics*, Singapore, McGraw-Hill.
- Haney, D. (1975), "Review of Aviation Forecasting Methodology," *Rep. DOT-40176-6*, Washington, U.S. DOT.
- INEGI (varios años), *Cuaderno de información oportuna regional*, varios números, México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- *Encuesta Nacional de Empleo Urbano*, varios números, México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- *Encuesta Nacional del Sector Formal de la Industria de la Construcción*, varios números, México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- *Encuesta Mensual sobre Establecimientos Comerciales*, varios números, México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Jacobson, I. (1970), "Demand Modeling of Passenger Air Travel," *Rep. CR-157469*, NASA.

- Kanafani, A. (1983), *Transportation Demand Analysis*, Nueva York, McGraw-Hill.
- Karlaftis, M., K. Zografos, J. Papastavrou y J. Charnes (1996), "Methodological Framework for Air-Travel Demand Forecasting", *Journal of Transportation Engineering*, vol. 125, núm. 2, pp. 96-104.
- McKean, J., D. Johnson y R. Walsh (1995), "Valuing Time in Travel Cost Demand Analysis: An Empirical Investigation", *Land Economics*, vol. 71, núm. 1, pp. 96-105.
- Mellman, R., M. Nelson y J. Pino (1980), "Forecasts of Passenger Traffic and Air Cargo Activity at Logan International Airport", *Transportation Research Record*, núm. 768, pp. 31-37.
- Thomet, M. y S. Sultan (1979), "Traffic Forecasting for the New Riyadh International Airport," *ICAO Manual on Air Traffic Forecasting*, Montreal, ICAO.
- Zuñiga, S., A. Kanafani y A. Olivera (1980), "Forecasting Airport Traffic: Mexico City as a Case Study", *Transportation Research Record*, núm. 732, pp. 24-29.