

Pronóstico de la demanda de pasajeros aéreos en rutas principales nacionales y en contexto de liberalización. El caso de Colombia

Camilo Ortiz Prieto*, Oscar Díaz Olariaga**

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia.

*camilo.ortiz@usantotomas.edu.co

**OscarDiazOlariaga@usantotomas.edu.co

Presentación: Oral

Área temática (seleccione una opción):

- | | |
|---|---|
| ☐ Economía del transporte | ☐ Transporte multimodal y logística de mercancías |
| ☐ Infraestructura del transporte | ☐ Transporte, ambiente y ciudad |
| ☐ Modelación y sistemas inteligentes de transporte | ☐ Tránsito y accesibilidad del transporte |
| ☐ Planificación y políticas de transporte | ☒ Modos generales y temas transversales al transporte |
| ☐ Seguridad Vial | |

INTRODUCCIÓN

El proceso de liberalización del transporte aéreo en Colombia inicia en 1991. La liberalización implicó, por un lado, la entrada de capital privado en el sector aeroportuario, lo que condujo, en varias fases temporales, a la privatización de los principales aeropuertos del país (Díaz Olariaga, 2017). Por otro lado, hubo una entrada al mercado de nuevos operadores aéreos. Esta nueva situación del mercado, ayudado por la desregularización total de las tarifas aéreas, en el año 2012 (Díaz Olariaga & Zea, 2018), generó un dinámico y mantenido crecimiento del transporte aéreo en Colombia desde hace dos décadas. Entonces, y en este contexto de liberalización, en el presente artículo se realiza un pronóstico (a corto plazo) del tráfico aéreo de pasajeros domésticos en las denominadas "rutas principales nacionales" que son aquellas que mueven el mayor tráfico de pasajeros de la red aeroportuaria colombiana. Los resultados de la investigación ayudarán a comprender como ha evolucionado, y evolucionará a corto plazo, la conectividad territorial vía aérea en el país, ya que las rutas principales nacionales conectan los principales centros urbanos del país. Los resultados también mostrarán la importancia del transporte aéreo en la cohesión territorial, en un país con una compleja y accidentada geografía (que dificulta la conectividad), con una importante deficiencia en infraestructura vial (aunque mejorando) y un inexistente sistema de transporte ferroviario de pasajeros. La metodología utilizada para la realización de los pronósticos se centrará en encontrar las variables económicas que, en el periodo de tiempo estudiado, han tenido una mayor relación con el desarrollo que ha tenido la demanda de pasajeros en el país. Para esto, se utilizará una comparación de modelos estadísticos que permitan obtener proyecciones ajustadas a las variables existentes y generan un modelo predictivo acertado y consistente. Usando el paquete computacional "R" se utilizarán distintos modelos de correlación para obtener modelos con factores de ajuste apropiados para el contexto colombiano (Bourguignon, 2016). Esta clase de modelos predictivos permiten obtener tendencias bastante precisas, que pueden ser utilizadas en conjunto con predicciones económicas secundarias, para obtener una perspectiva de demanda del transporte aéreo en el país, al menos, en el corto plazo (Kutner, 2004).

METODOLOGÍA Y DATOS

Para el desarrollo de pronóstico de tráfico aéreo la práctica habitual se basa en la utilización de modelos econométricos para la correlación de variables socio-económicas con las de transporte aéreo, pasajeros (y/o carga y/u operaciones) transportados y su comportamiento en el tiempo. Como con la estimación de demanda de cualquier modo de transporte, esta práctica resulta rápida, eficiente y de aplicarse correctamente resulta en estimaciones bastante ajustadas en la realidad. Sin embargo, esta metodología requiere que las variables explicativas de la correlación sean adecuadamente seleccionadas y proyectadas de manera apropiada, de lo contrario se puede resultar en modelos matemáticamente ciertos, pero no ajustados a la realidad, modelos ajustados para las condiciones de la demanda actual pero no escalables a otros horizontes de tiempo o sencillamente modelos no aplicables (Kutner, 2004).

Partiendo de distintas variables socioeconómicas a nivel nacional y datos históricos de demanda de pasajeros para 34 rutas aéreas nacionales, se propone evaluar distintos modelos de crecimiento lineales y exponenciales linealizados a nivel de ruta

y agregados a nivel de país. Para esto, utilizando algoritmos de selección de variables óptimas de acuerdo a los coeficientes de ajuste estadístico y de significancia de hipótesis, se evaluará la dispersión generada entre los distintos tipos de modelos propuestos, tanto lineales como de crecimiento exponencial linealizados, y como parámetro de comparación, un crecimiento exponencial suavizado en el tiempo, como lo sugiere IATA (2018). Con este ejercicio se espera demostrar cómo a partir de un mismo núcleo de datos agregados a nivel nacional, es necesario encontrar cuales variables son representativas a la hora de explicar el comportamiento de la demanda en cada ruta, sin que esto afecte los resultados de la estimación de viajes a nivel nacional.

Ejemplo de modelo de crecimiento lineal:

$$Pax_{ruta} = Intercepto + Coef f_{x_1} * X_1 + Coef f_{x_2} * X_2 + \dots + Coef f_{x_n} * X_n$$

Ejemplo de modelo de crecimiento exponencial:

$$\ln Pax_{ruta} = Intercepto + Coef f_{x_1} * \ln X_1 + Coef f_{x_2} * \ln X_2 + \dots + Coef f_{x_n} * \ln X_n$$

$$Pax_{ruta} = e^{Intercepto + Coef f_{x_1} * X_1 + Coef f_{x_2} * X_2 + \dots + Coef f_{x_n} * X_n}$$

La comparación de los resultados encontrados permitirá establecer dos horizontes de demanda posibles, los cuales deberán ser evaluados a la luz de los parámetros de ajuste encontrados. Cabe destacar que, una de las ventajas de obtener estimaciones específicas por ruta, radica en la posibilidad de evaluar medidas de fomento y desarrollo centradas a los centros de población que sirve cada ruta y así poderlos incorporar a la matriz nacional de viajes. Al haber determinado parámetros de ajuste específicos para cada ruta, y por lo tanto una función de crecimiento para cada una, se pueden obtener mediciones de impacto mucho más precisas para cada uno de los escenarios de crecimiento que se quieran evaluar en el futuro.

Para entender el comportamiento de las distintas variables en función de las demandas de cada ruta en el tiempo, se propone una evaluación en dos etapas (sobre la posibilidad de correlación entre las variables econométricas y la cantidad de pasajeros transportados en cada ruta): primero una evaluación usando una prueba de correlación de Pearson para así poder estimar las variables que deberán ser excluidas de la estimación de los modelos finales (Prabhakaran, 2019a, 2019b). Posteriormente, usando un algoritmo de selección de variables óptimas en modelos lineales, se evaluarán tanto regresiones lineales como logarítmicas linealizadas usando el coeficiente de correlación de Pearson (R^2) y el P-valor de cada modelo como indicador de significancia estadística para los modelos donde se encuentre una multicolinealidad alta ($FIV > 10$) (Kutner, 2004), buscando encontrar los modelos con variables con un P valor menor a 5% y un FIV menor a 10.

Las fuentes de datos de la presente investigación son de Aerocivil (2019) para los datos aeronáuticos / transporte aéreo y del Banco de la República (2019) y DANE (2019) para los datos socio-económicos.

CASO DE ESTUDIO

Liberalización del transporte aéreo en Colombia

Sobre la gestión de la infraestructura aeroportuaria Colombia ha seguido la tendencia regional (Latinoamérica) de concesionar la administración de dichas infraestructuras (Díaz Olariaga y Ávila, 2015). Este modelo busca liberar al Estado del alto gasto requerido por la infraestructura aeronáutica. Entonces, desde mediados de la década de 1990, y en cuatro fases temporales, denominadas generaciones, el gobierno colombiano entregó en concesión varios aeropuertos del país, los más grandes e importantes (19 a la fecha), con el fin de obtener una mejor administración, modernización y expansión, operación, explotación comercial y mantenimiento de las terminales aéreas de mayor uso (Díaz Olariaga, 2016, 2017). Bajo el objetivo planteado de las concesiones aeroportuarias del país, la empresa, sociedad, consorcio o ente concesionario de los aeropuertos se desempeña únicamente como administrador del mismo.

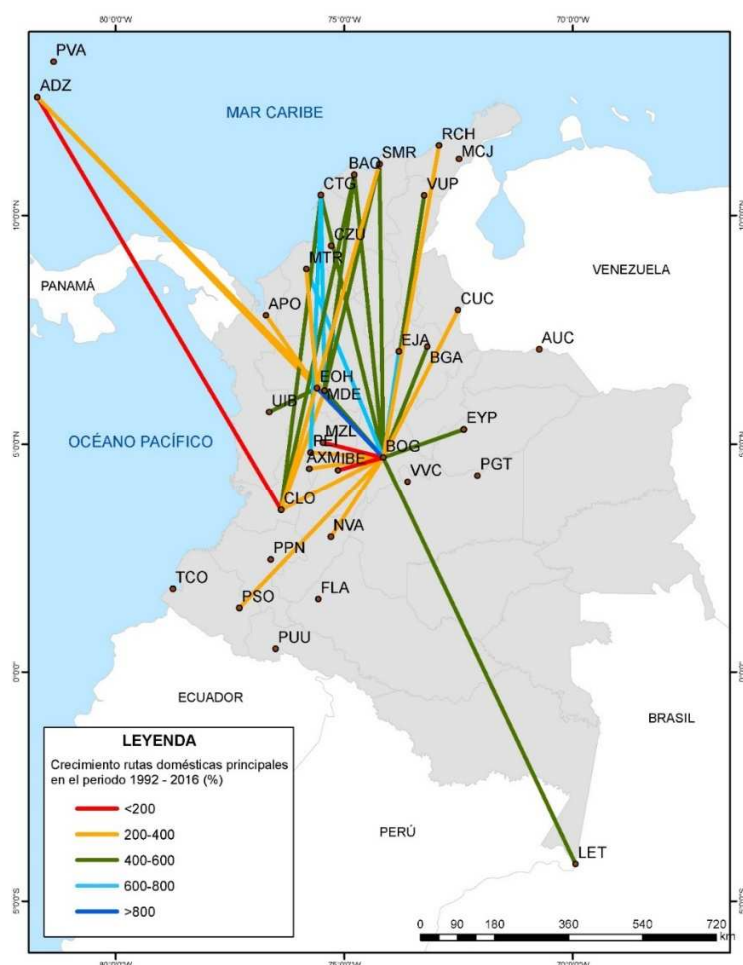
En lo que se refiere al sector aerocomercial, en Colombia la entrada al mercado de operadores aéreo privados con un modelo de negocio de "servicio completo", o FSC (*Full-Service Carrier*), se produjo muy pronto luego de la liberalización del sector (mediados de la década de 1990). Pero la entrada al mercado de las líneas aéreas de bajo costo, o LCC (*Low-Cost Carrier*), fue muchos años posterior a la liberalización. Las únicas LCC que comenzaron sus actividades en el mercado colombiano, y aun hoy en operaciones, son EasyFly (nace en 2006 e inicia operaciones en 2007), VivaColombia (nace en

2009 pero inicia operaciones en 2012), y Wingo (que inicia operaciones en 2016). La cuota de mercado de este modelo de negocio sigue siendo aun baja en el mercado colombiano (no supera el 18%) (Aerocivil, 2019).

Geografía de la conectividad aérea y desarrollo de rutas

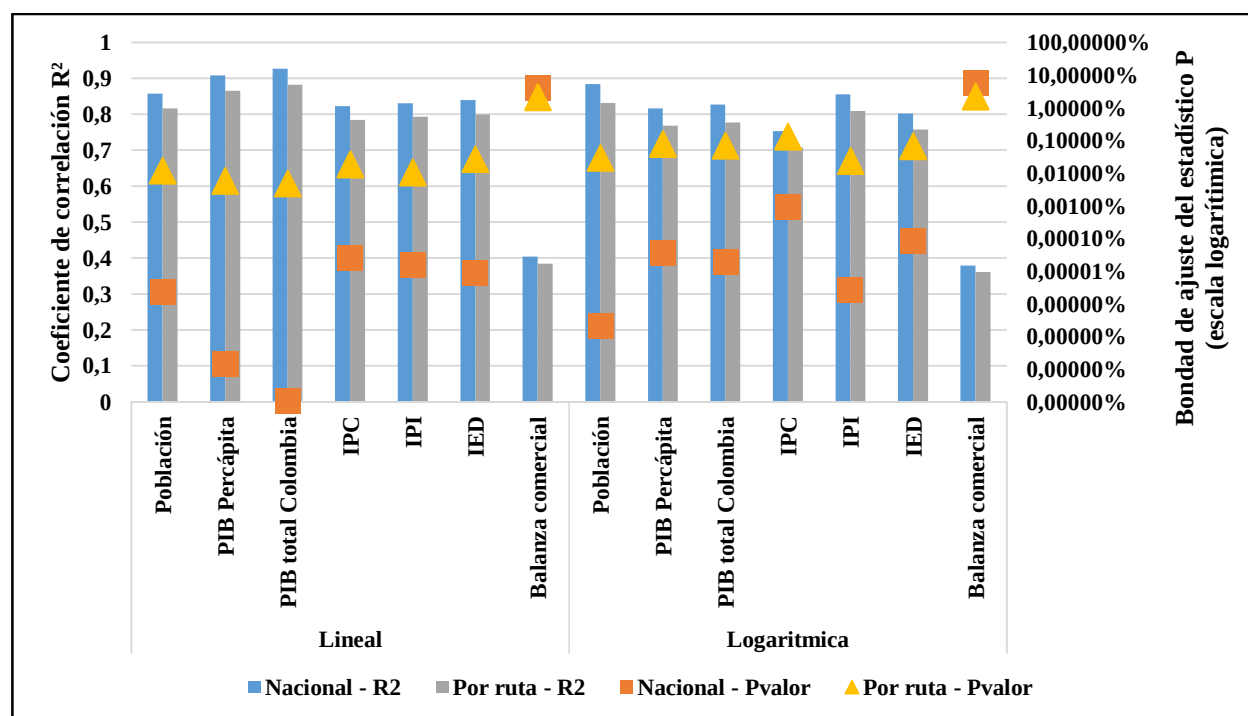
La Autoridad Aeronáutica Civil de Colombia, a través de su Plan de Navegación Aérea (Aerocivil, 2017), estructura sobre el geo-espacio aéreo colombiano lo que denomina “Áreas Homogéneas”, estas áreas, cuatro en total, son grandes corredores aéreos que conglomeran todo el flujo del tráfico aéreo (vuelos). En estas grandes áreas homogéneas se agrupan todas las rutas de tráfico aéreo. A nivel doméstico, las rutas que gestionan una mayor cantidad de vuelos (y tráfico de pasajeros) se denominan rutas domésticas (o nacionales) principales. Estas rutas principales configuran una verdadera red sobre la geografía colombiana, y el desarrollo y crecimiento de dicha red ha venido reforzado por la propia dinámica del transporte aéreo nacional en las últimas dos décadas. En la ilustración 1 se presenta el crecimiento (de transporte aéreo de pasajeros nacionales) en cada conexión o ruta de la red en el periodo analizado (1992-2016), y se detectan los siguientes hechos. En primer lugar, El Aeropuerto de Bogotá-El Dorado es sin lugar a dudas el (gran) aeropuerto distribuidor del país. En segundo lugar se identifica un crecimiento superlativo de tráfico entre la capital del país, Bogotá (vía BOG), y los dos aeropuertos que sirven a la segunda ciudad más importante de Colombia, Medellín, vía MDE, con un crecimiento del 408%, y vía EOH, con un crecimiento de 1.729%. En tercer lugar, se identifica un importante crecimiento, del orden de 400-600%, en las rutas de las principales ciudades del centro del país hacia los aeropuertos de la costa del Caribe, zona turística por excelencia en Colombia (Díaz Olariaga y López, 2016). Y en cuarto lugar, destacar el surgimiento de aeropuertos distribuidores alternativos al de Bogotá, como son Cali (CLO) y Rionegro (MDE).

Ilustración 1. Desarrollo del tráfico doméstico de pasajeros por rutas principales nacionales. Fuente: Aerocivil, 2019.



RESULTADOS

Ilustración 1. Relación del R^2 y P-valor para los modelos ajustados, ponderado por pax/ruta. Fuente: elaboración propia.



Al observar la Ilustración 1, se ve como las variables de PIB total y PIB per cápita tienen un mayor ajuste en el caso de los modelos lineales directos, tanto en los modelos por ruta ponderados como para las estimaciones nacionales. Por el contrario, en el caso de los modelos exponenciales linealizados, tienen un mejor ajuste con las variables de población y el Índice de Producción Industrial (IPI). En ambos casos, para modelos lineales y exponenciales, la variable de la balanza comercial resulta en la que menor ajuste tiene y la que tiene una bondad de ajuste menor (al tener un P-valor mayor). Estos valores resultan consistentes con las afirmaciones dadas en la literatura consultada (Baltaci, 2015; Fernandes & Rodrigues, 2010), ya que los indicadores más directos de actividad económica interna son los que mejor representan las dinámicas de la demanda de vuelos nacionales; mientras que la variable de comercio internacional evaluada, consistentemente con su naturaleza, no resulta en la mejor por sí misma para evaluar las dinámicas internas del transporte aéreo.

Sin embargo, al evaluar ruta por ruta las variables que tienen un ajuste adecuado (ver Tabla 1: las celdas en color negro representan las variables que determinan cada uno de los modelos de demanda de cada ruta), se aprecia una significancia estadística apropiada y una multicolinealidad alta, es decir, aquellos que resultan en un mejor modelo por ruta se encuentra que para los modelos lineales es el IPC el que resulta en más ecuaciones de ruta, mientras que el PIB total nacional no aparece en ninguna de las ecuaciones de los modelos lineales. Por el contrario, para el caso de los modelos exponenciales, la variable que permite formular una mayor cantidad de modelos es el IPC. También se puede notar cómo, para algunas de las rutas con menor demanda, las variables escogidas dentro de la elaboración de este trabajo no resultan válidas para generar un modelo ajustado y significativo.

Tabla 1. Variables determinantes para el modelo de demanda en cada una de las rutas. Fuente: elaboración propia.

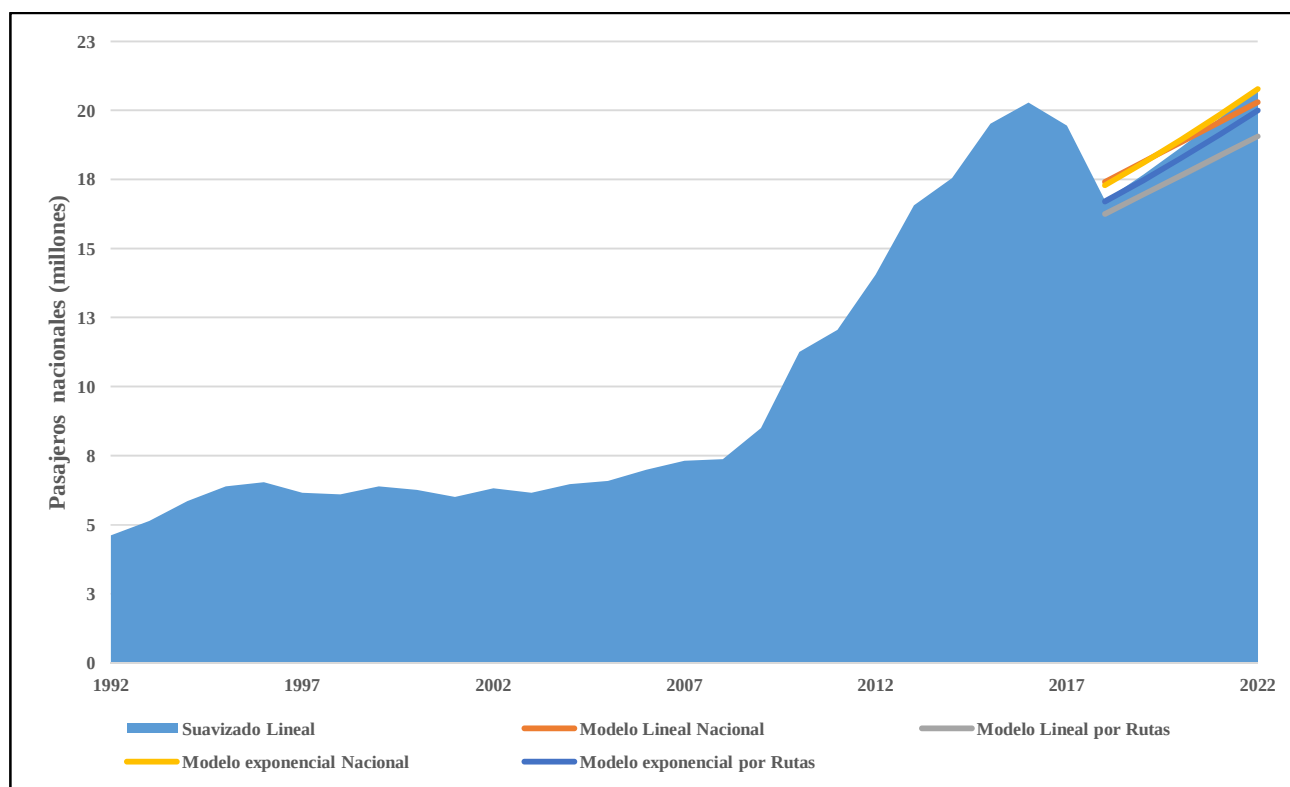
RUTA	MODELO	PIB Nacional	PIB Per	POBLACION	IPI	BALANZA	IPC	IED	Intercepto
BOG-MDE	Lineal								
BOG-CLO	Lineal								
BOG-CTG	Lineal								
BOG-BAQ	Lineal								
BOG-BGA	Lineal								
BOG-SMR	Lineal								
BOG-PEI	Lineal								
BOG-CUC	Lineal								
BOG-ADZ	Lineal								
BOG-MTR	Lineal								
CTG-MDE	Lineal								
CLO-MDE	Lineal								
BAQ-MDE	Lineal								
BOG-EYP	Lineal								
ADZ-CLO	Lineal								
EOH-UIB	Lineal								
BOG-AXM	Lineal								
CLO-CTG	Lineal								
BOG-VUP	Lineal								
ADZ-MDE	Lineal								
MDE-SMR	Lineal								
BOG-NVA	Lineal								
APO-EOH	Lineal								
BOG-PSO	Lineal								
BOG-EJA	Lineal								
CLO-BAQ	Lineal								
BOG-LET	Lineal								
BOG-MZL	Lineal								
CTG-PEI	Lineal								
BOG-EOH	Lineal								
EOH-MTR	Lineal								
BOG-RCH	Lineal								
BOG-IBE	Lineal								
CLO-SMR	Lineal								
TOTAL NACIONAL	Lineal								
BOG-MDE	Exponencial								
BOG-CLO	Exponencial								
BOG-CTG	Exponencial								
BOG-BAQ	Exponencial								
BOG-BGA	Exponencial								
BOG-SMR	Exponencial								
BOG-PEI	Exponencial								
BOG-CUC	Exponencial								
BOG-ADZ	Exponencial								
BOG-MTR	Exponencial								
CTG-MDE	Exponencial								
CLO-MDE	Exponencial								
BAQ-MDE	Exponencial								
BOG-EYP	Exponencial								
ADZ-CLO	Exponencial								
EOH-UIB	Exponencial								
BOG-AXM	Exponencial								
CLO-CTG	Exponencial								
BOG-VUP	Exponencial								
ADZ-MDE	Exponencial								
MDE-SMR	Exponencial								
BOG-NVA	Exponencial								
APO-EOH	Exponencial								



RUTA	MODELO	PIB Nacional	PIB Per	POBLACION	IPI	BALANZA	IPC	IED	Intercepto
BOG-PSO	Exponencial								
BOG-EJA	Exponencial								
CLO-BAQ	Exponencial								
BOG-LET	Exponencial								
BOG-MZL	Exponencial								
CTG-PEI	Exponencial								
BOG-EOH	Exponencial								
EOH-MTR	Exponencial								
BOG-RCH	Exponencial								
BOG-IBE	Exponencial								
CLO-SMR	Exponencial								
TOTAL NACIONAL	Exponencial								

Finalmente, al comparar los totales de las proyecciones por ruta, en cada uno de los modelos definidos, se puede comparar contra las proyecciones por ajuste exponencial, y por modelo lineal, para la demanda total nacional y por el modelo exponencial hallado para esta misma demanda (ver Ilustración 2). Para todos los modelos, incluso para el modelo de referencia de suavizado exponencial, se puede observar el cambio abrupto en la tendencia de demanda decreciente de los últimos dos años registrados, lo anterior se puede explicar entendiendo la naturaleza creciente de los modelos evaluados y la imposibilidad que tienen estos de suponer puntos de inflexión o cambios abruptos de tendencia como lo harían los modelos polinómicos o de media móvil (Listen Data, 2019).

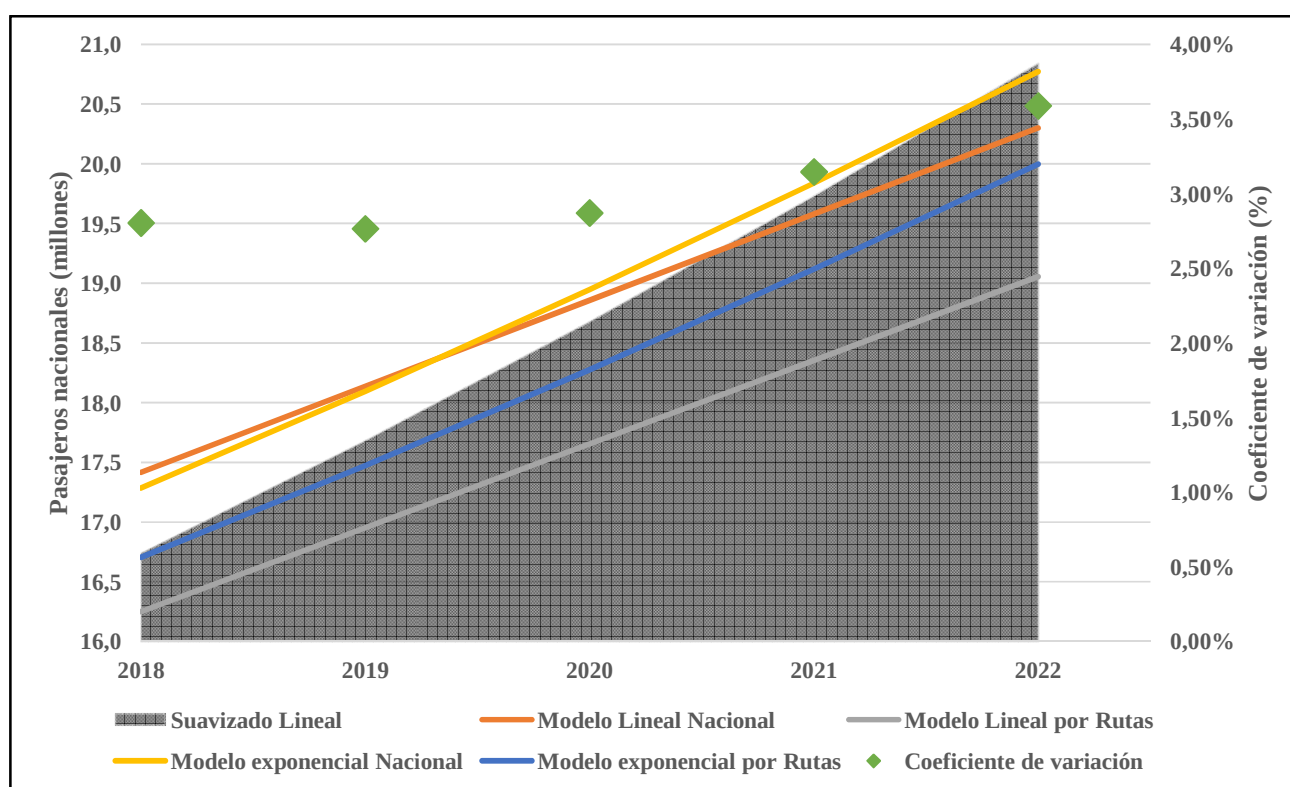
Ilustración 2. Comparativa de proyecciones de demanda en cada uno de los modelos. Fuente: elaboración propia.



DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Como se demuestra a lo largo de este artículo, la importancia de determinar adecuadamente las variables econométricas adecuadas para cada ruta aérea es de vital importancia a la hora del estudio de los fenómenos asociados a la demanda de tráfico aéreo. Si, además, se considera que usando esta metodología se puede llegar a una estimación ajustada de la demanda agregada a nivel nacional, la potencialidad debe ser observada, ya que en países como Colombia donde la disponibilidad de información desagregada a nivel de ciudades en históricos de larga data es casi imposible, encontrar modelos que permitan usar información agregada para lograr estimaciones más precisas es clave en el desarrollo de proyectos aeroportuarios en el país. Como se observa en la Ilustración 3, entre el modelo más conservador y el modelo con un mayor crecimiento de viajeros existen menos de 2 millones de viajeros de diferencia, acompañados de un coeficiente de variación del 3,5% entre todas las medidas, lo cual brinda una gran seguridad a la hora de trabajar sobre las estimaciones encontradas.

Ilustración 3. Proyecciones a corto plazo de la demanda según los modelos evaluados. Fuente: elaboración propia.



Dentro del enfoque marco de esta investigación resulta entendible que las variables que permiten relacionar el comercio internacional o la inversión extranjera directa con la demanda aérea, no sean las más determinantes a la hora de evaluar los modelos de comportamiento de la demanda de pasajeros. Sin embargo, se deben identificar a futuro otros medidores que permitan ajustar estos modelos o incluso otros más complejos, a las dinámicas de liberalización que transcurren en el mercado aéreo del país.

REFERENCIAS

Aerocivil (2019). Estadísticas de transporte aéreo. www.aerocivil.gov.co

Aerocivil (2017). *Plan de Navegación Aérea para Colombia*. Bogotá: Aerocivil.

- Banco de la República de Colombia (2019). Estadísticas. <http://www.banrep.gov.co/es/-estadisticas>.
- Baltaci, N.; Sekmen, O.; Yildiz, A. (2015). The Relationship between Air Transport and Economic Growth in Turkey: Cross-Regional Panel Data Analysis Approach. *Journal of Economics and Behavioral Studies*. 7(1), 89-100.
- Bourguignon, F.; Darpeix, P. (2016). Air traffic and economic growth: the case of developing countries.
- DANE (2019). Estadísticas por tema. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema>.
- Díaz Olariaga, O.; Zea, J.F. (2018). Influence of the liberalization of the air transport industry on configuration of the traffic in the airport network. *Transportation Research Procedia*, 33, 43-50.
- Díaz Olariaga, O. (2017). Políticas de privatización de aeropuertos. El caso de Colombia. *Documentos y Aportes en Administración Pública y Gestión Estatal*, 29, 7-35.
- Díaz Olariaga, O.; López, A.L. (2016). Comportamiento e interrelación del turismo y el transporte aéreo en Colombia. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 25(1), 36-56.
- Díaz Olariaga, O.; Ávila Álvarez, J. (2015). Evolution of the airport and air transport industry in Colombia and its impact on the economy. *Journal of Airline and Airport Management*, 5(1), 39-66.
- Fernandes, E.; Rodrigues, R. (2010). The causal relationship between GDP and domestic air passenger traffic in Brazil. *Transportation Planning and Technology*. 33(7), 569-581.
- IATA (2018). Comunicado 62. Montreal: IATA.
- Kutner, M.; Nachtsheim, C. & Neter, J. (2004). *Applied linear regression models*. Boston: McGraw-Hill/Irwin.
- Listen Data. (2019). <https://www.listendata.com/2018/03/regression-analysis.html>
- Prabhakaran, S. (2019a). Model Selection. <http://r-statistics.co/Model-Selection-in-R.html>.
- Prabhakaran, S. (2019b). Linear Regression With R. <http://r-statistics.co/Linear-Regression.html>.